



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

Том 76
2\2026

НАУЧНЫЕ ТРУДЫ ДАЛЬРЫБВТУЗА



ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО,
АКВАКУЛЬТУРА
И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ
УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ
(ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

76

SCIENTIFIC JOURNAL OF THE FAR EASTERN
STATE TECHNICAL FISHERIES UNIVERSITY



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

Том 76
2\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>

Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. № 2 (т. 76)

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 – **Харитоновна 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 рыбохозяйственный 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.

СОДЕРЖАНИЕ

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ 8

Алдаматов Н. Э., Бредихин С. А., Нужденко А. Ю.

Воздействие углекислого газа на качество мяса кролика при охлаждении 8

Глебова Е. В.

Апробация методики оценки культуры пищевой безопасности на предприятиях
рыбоперерабатывающей отрасли: результаты и методические выводы 16

Голденков В. А., Крюкова Е. В.

Применение функции желательности Харрингтона для комплексной оценки
качества рецептур тонизирующих напитков 25

Гуз Е. А., Чеснокова Н. Ю., Кузнецова А. А.

Разработка технологии лапши домашней с добавлением папоротника орляка
(*Pteridium aquilinum*) для использования в системе школьного питания 36

Журавлева С. В., Бойцова Т. М., Новицкая Е. Г., Панкина А. В.

Кинетика накопления сухих веществ и минеральный профиль отваров
Saccharina japonica 53

Котов Н. Е., Полещук Д. В., Максимова С. Н., Лаженцева Л. Ю.

Исследование технологического потенциала сердец тихоокеанских лососей 66

Савкина К. Н.

Исследование пищевой ценности и сохраняемости разработанных мучных
изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом в составе ламинарии 77

Ткаченко Т. И., Кунякина А. Е., Чуприн В. В.

Оптимизация технологического потока производства кормовой рыбной муки 86

Цибизов И. В., Золотокопова С. В.

Оценка ожиданий потребителей в расширении ассортимента роллов и суши 94

Шинкарук П. А., Текутьева Л. А.

Высококонцентрированный рубцово-защищенный холина хлорид (60 %):
разработка микрокапсулированной формы, биологическая эффективность
и влияние на качество мяса бычков 102

Янова М. А., Оникиенко А. В.

Влияние продолжительности хранения на реологические свойства
замороженных хлебобулочных полуфабрикатов 109

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО 116

Бурмистров Е. В., Кириллов А. Ф.

Плодовитость и воспроизводительная способность сибирской ряпушки
Coregonus sardinella (Coregonidae) реки Индигирки (бассейн Восточно-
Сибирского моря) 116

Каурова З. Г., Сычева У. Р.

Закономерности биоаккумуляции микропластика фильтрующими гидробионтами
на примере *Unio pictorum* в озере Вельё национального парка «Валдайский» 124

<i>Кириллов А. Ф., Горохова Е. С.</i> Бентоценозы и кормовая база озер бассейна реки Лены	131
<i>Кудакаев В. В.</i> Разработка методики расчёта оптимального распределения конических ловушек на палубе судна	138
<i>Матафонова Е. П.</i> Исследование способов управления световым потоком путем регулирования напряжения на рыбопромысловых светильниках.....	145
<i>Матросова И. В., Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л., Политаева А. А.</i> Дрожжи <i>Rhodotorula</i> , выделенные из морских биотопов и водорослей Японского моря.....	154
<i>Михеев Е. В., Лескова С. Е., Ковалев Н. Н.</i> Синергетический эффект фитогормонов разных классов на рост и биохимический состав <i>Chaetoceros muelleri</i> (Lemmermann, 1898).....	164
<i>Недоступ А. А., Гмырин Д. В.</i> Интеллектуальная система управления маневрированием и эксплуатацией кошелькового невода на базе интеграции автономных вспомогательных судов.....	176
<i>Осипов Е. В., Сошин И. А., Сухорукова С. В.</i> Моделирование процессов промысла минтая на крупнотоннажных судах.....	188
<i>Помогаева Т. В., Артёмов Ю. Г., Сахонь Е. Г.</i> Распределение рыбных скоплений в осенне-зимний период 2025 года в прибрежных районах Крыма и Кавказа по результатам гидроакустических исследований под влиянием температурного фактора	200
<i>Сергеева М. М.</i> Некоторые биологические показатели камбалы Шренка Амурского залива (Японское море) в весенний период 2023, 2024, 2025 гг.	210
<i>Сухорукова С. В.</i> Анализ распределения объемов квот добычи (вылова) краба-стригуна опилио по пользователям в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне за 2019-2025 гг.....	217
СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)	230
<i>Ганнесен В. В., Петрова Е. Е.</i> О необходимости подготовки экипажей морских судов к переходу на альтернативные виды топлива в рамках стратегии ИМО по сокращению выбросов парниковых газов.....	230
<i>Терлыч С. В.</i> Динамика системы «судно-глубоководный трал» при донном зацеплении трала.....	238

CONTENTS

FOOD SYSTEMS	8
<i>Aldamatov N. E., Bredihin S. A., Nuzhdenko A. Yu.</i>	
The effect of carbon dioxide on the quality of rabbit meat during cooling	8
<i>Glebova E. V.</i>	
Appraisal of food safety culture assessment methods in the fishery processing industry: results and methodological conclusions.....	16
<i>Goldenkov V. A., Kyukova E. V.</i>	
Application of the Harrington desirability function for comprehensive quality assessment of tonic beverage formulations.....	25
<i>Guz E. A., Chesnokova N. Yu., Kuznetsova A. A.</i>	
Development of a technology for homemade noodles with the added <i>Pteridium aquilinum</i> use in the school meal system.....	36
<i>Zhuravleva S. V., Boitsova T. M., Novitskaya E. G., Pankina A. V.</i>	
Kinetics of dry matter accumulation and mineral profile of <i>Saccharina japonica</i> decoctions	53
<i>Kotov N. E., Poleshchuk D. V., Maksimova S. N., Lazhenceva L. Yu.</i>	
Exploring the technological potential of Pacific salmon hearts.....	66
<i>Savkina K. N.</i>	
Study of the nutritional value and preservation of the developed flour products "Multigrain crispbread", enriched with iodine in kelp.....	77
<i>Tkachenko T. I., Kunyakina A. E., Chuprin V. V.</i>	
Optimization of the technological flow of fodder fish flour production	86
<i>Tsibizov I. V., Zolotokopova S. V.</i>	
Assessing consumer expectations for expanding the range of rolls and sushi	94
<i>Shinkaruk P. A., Tekutyeva L. A.</i>	
Highly concentrated scar-protected choline chloride (60 %): development of a microcapsulated form, biological efficacy and impact on the quality of bull meat	102
<i>Yanova M. A., Onikienko A. V.</i>	
Influence of storage duration on rheological properties of frozen semifinished bakery products.....	109
 FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES.....	 116
<i>Burmistrov E. V., Kirillov A. F.</i>	
Fertility and reproductive capacity of Siberian vendace <i>Coregonus sardinella</i> (Coregonidae) of the Indigirka River (East Siberian Sea basin).....	116
<i>Kaurova Z. G., Sycheva U. R.</i>	
Patterns of microplastic bioaccumulation by filtering hydrobionts using the example of <i>Unio pictorum</i> in Lake Velje, Valdaysky National Park	124

<i>Kirillov A. F., Gorokhova E. S.</i> Benthic communities and the food supply of the Lena River basin lakes	131
<i>Kudakaev V. V.</i> Development of a calculation methodology for the optimal layout of conical pots on a vessel's deck	138
<i>Matafonova E. P.</i> A study of methods for controlling luminous flux by regulating voltage on fishing lights....	145
<i>Matrosova I. V., Panchishina E. M., Kornienko N. L., Politaeva A. A.</i> <i>Rhodotorula</i> yeast isolated from marine biotopes and algae of the Sea Japan	154
<i>Mikheev E. V., Leskova S. E., Kovalev N. N.</i> Synergistic effect of phytohormones of different classes on growth and biochemical composition of <i>Chaetoceros muelleri</i> (Lemmermann, 1898).....	164
<i>Nedostup A. A., Gmyrin D. V.</i> Intelligent control system for maneuvering and operation of purse seine based on the integration of autonomous auxiliary vessels.....	176
<i>Osipov E. V., Soshin I. A., Sukhorukova S. V.</i> Modeling of pollock fishing processes on large-capacity vessels	188
<i>Pomogaeva T. V., Artyomov Yu. G., Sakhon E. G.</i> Distribution of fish assemblages in the autumn-winter period of 2025 in the coastal areas of Crimea and the Caucasus according to the results of hydroacoustic research under the influence of the temperature factor	200
<i>Sergeeva M. M.</i> Some biological indicators of Schrenk's flounder of Amur Bay (Sea of Japan) in the spring period of 2023, 2024, 2025	210
<i>Sukhorukova S. V.</i> Analysis of the distribution of the volume of production (catch) quotas for the <i>Opilio</i> cuttlefish by users in the Far Eastern Fisheries Basin for 2019–2025	217
SHIP POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)	230
<i>Gannesen V. V., Petrova E. E.</i> On the necessity to train ship crews to switch to alternative fuels as part of the IMO strategy to reduce greenhouse gas emissions	230
<i>Terlych S. V.</i> The dynamics of the "vessel-deep-sea trawl" system during trawl bottom engagement.....	238

Воздействие углекислого газа на качество мяса кролика при охлаждении

Нурсултан Эсенбекович Алдаматов¹, Сергей Алексеевич Бредихин²,
Александр Юрьевич Нужденко³

^{1,2} Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

³ Общество с ограниченной ответственностью «Криофрост Инжиниринг», Москва, Россия

¹ Status_Diamond@bk.ru, ORCID: 0009-0005-1492-4508

² Sbredihin_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-6898-0389

³ Prostoalexsandr4@yandex.ru

Аннотация. Крольчатина является ценным диетическим продуктом, однако короткий срок хранения в охлажденном виде ограничивает возможности её реализации. Цель работы заключалась в разработке и оценке эффективности технологии холодильной обработки тушек кроликов породы «советская шиншилла» с применением газообразного диоксида углерода для продления сроков годности. Объектом исследования служили кроличьи туши массой $1,3 \pm 0,15$ кг, отобранные после завершения технологической стадии на производственной линии. Опытные образцы охлаждали газообразным CO₂, полученным сублимацией сухого льда в специально разработанном аппарате с замкнутой рециркуляционной схемой движения газо-воздушной среды, контрольные – традиционным воздушным способом при температуре 0 °С до достижения в толще мышц диапазона 0÷4 °С. Аппарат также может использоваться без подачи CO₂, что делает его пригодным для стандартного воздушного охлаждения. Комплексная оценка качества мяса осуществлялась по динамике активной кислотности и водоудерживающей способности в процессе всего периода холодильного хранения. Установлено, что обработка CO₂ способствует более выраженному снижению pH в первые сутки хранения, замедляя гликолитические процессы и фазу rigor mortis. Динамика водоудерживающей способности коррелировала с изменением кислотности, что подтверждает замедление автолитических изменений в мышечной ткани. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что предложенный способ обеспечивает сохранение высоких органолептических характеристик продукта в течение более длительного периода по сравнению с воздушным охлаждением. Полученные результаты обосновывают перспективность внедрения разработанной технологии в промышленных условиях для увеличения сроков хранения охлажденной крольчатины с сохранением ее высоких качественных характеристик и диетических свойств.

Ключевые слова: крольчатина, охлажденное мясо, срок хранения, диоксид углерода, активная кислотность (pH), водоудерживающая способность, качество мяса

Для цитирования: Алдаматов Н. Э., Бредихин С. А., Нужденко А. Ю. Воздействие углекислого газа на качество мяса кролика при охлаждении // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 8–15.

FOOD SYSTEMS

Original article

The effect of carbon dioxide on the quality of rabbit meat during cooling

Nursultan E. Aldamatov¹, Sergey A. Bredihin², Alexander Yu. Nuzhdenko³

^{1, 2} Russian Timiryazev State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

³ Kriofrost Engineering LLC, Moscow, Russia

¹ Status_Diamond@bk.ru, ORCID: 0009-0005-1492-4508

² Sbredihin_kpia@rgau-msha.ru, ORCID: 0000-0002-6898-0389

³ Prostoalexsandr4@yandex.ru

Abstract. Rabbit meat is a valuable dietary product; however, its short shelf life in a chilled state limits the possibilities of its distribution. The aim of this work was to develop and evaluate the efficiency of refrigeration technology for rabbit carcasses of the «Soviet Chinchilla» breed using gaseous carbon dioxide to extend shelf life. The objects of the study were rabbit carcasses weighing 1.3 ± 0.15 kg, selected after completion of the processing stage on the production line. The test samples were cooled with gaseous CO₂ obtained by sublimation of dry ice in a specially designed apparatus with a closed recirculation scheme of gas-air medium movement, while control samples were cooled by the conventional air method at 0 °C until the temperature in the muscle core reached the range of 0÷4 °C. The apparatus can also be used without CO₂ supply, which makes it suitable for standard air cooling. A comprehensive quality assessment of the meat was carried out based on the dynamics of active acidity and water-holding capacity throughout the entire period of refrigerated storage. It was established that CO₂ treatment promotes a more pronounced decrease in pH during the first day of storage, slowing down glycolytic processes and the rigor mortis phase. The dynamics of water-holding capacity correlated with changes in acidity, which confirms the retardation of autolytic changes in muscle tissue. The experimental data obtained indicate that the proposed method ensures the preservation of high organoleptic characteristics of the product over a longer period compared to air cooling. The obtained results substantiate the prospects of implementing the developed technology under industrial conditions to extend the shelf life of chilled rabbit meat while preserving its high quality characteristics and dietary properties.

Keywords: rabbit meat, chilled meat, shelf life, carbon dioxide, active acidity (pH), water-holding capacity, meat quality

For citation: Aldamatov N. E., Bredihin S. A., Nuzhdenko A. Yu. The effect of carbon dioxide on the quality of rabbit meat during cooling. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):8–15. (In Russ.).

Введение

Крольчатина представляет собой диетический продукт, характеризующийся превосходными вкусовыми качествами и высокой пищевой ценностью. Отличительной особенностью данного вида мяса является низкое содержание жиров и холестерина в сочетании с богатым составом биологически активных веществ. Благодаря этим свойствам, диетологи рекомендуют включать крольчатину в рацион питания при заболеваниях желудочно-кишечного тракта, патологиях печени и желчевыводящих путей, аллергических реакциях, а также при артериальной гипертензии и других состояниях [1, 2].

В отличие от более тяжелых видов мяса, таких как говядина, свинина и баранина, крольчатина отличается легкостью усвоения и высокой степенью перевариваемости. Особую пользу данный продукт приносит лицам, подверженным повышенным физическим и психическим

нагрузкам, включая спортсменов, водолазов, пилотов, работников вредных производств и жителей регионов с неблагоприятной экологической обстановкой. Крольчатина служит ценным источником полноценного белка для детей, подростков, беременных и кормящих женщин, а также для лиц пожилого возраста. Жир кролика обладает регенеративными и антиаллергенными свойствами и находит применение в фармацевтической и косметической промышленности [3, 4].

Мясо кролика содержит лецитин, способствующий профилактике атеросклероза, отличается высоким содержанием никотиновой кислоты и богато такими минералами, как калий, кальций и фосфор. Дополнительным преимуществом крольчатины являются ее высокие органолептические свойства [5].

Для сохранения полезных свойств крольчатины рекомендовано хранение и реализация в охлажденном виде при температуре от минус 1,5 до 4 °С. Стандартный срок годности продукта в данных условиях ограничен пятью сутками [6, 7, 8].

Объект и методы исследования

Для увеличения срока хранения охлажденной крольчатина была разработана технология, использующая прямой контакт газообразного диоксида углерода с мясной продукцией.

В ходе исследования, посвящённого холодильной обработке кроличьих туш породы «советская шиншилла» в среде газообразного диоксида углерода, была проведена оценка изменения качественных характеристик в процессе охлаждения и последующего хранения.

На рис. 1 представлен аппарат для охлаждения пищевых продуктов в газовой среде сублимирующего диоксида углерода [9].

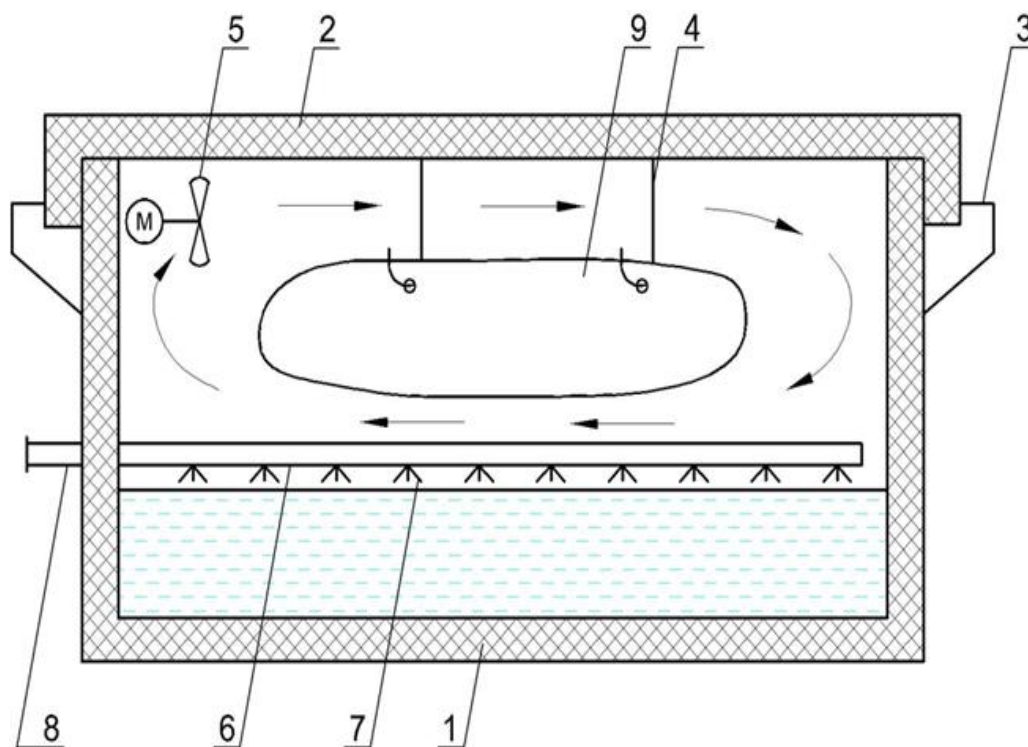


Рис. 1. Аппарат для охлаждения пищевых продуктов в газовой среде сублимирующего диоксида углерода. Позиции аппарата: 1 – теплоизолированный корпус; 2 – крышка; 3 – фиксатор; 4 – крюк; 5 – вентилятор; 6 – распределительный трубопровод; 7 – дроссельные форсунки; 8 – входной патрубок подачи жидкого CO₂; 9 – охлаждаемый продукт. Составлено авторами

Fig. 1. Apparatus for cooling food products in a gas-air medium of sublimating carbon dioxide. Apparatus components: 1 – heat-insulated case; 2 – lid; 3 – retainer; 4 – hook; 5 – fan; 6 – distribution pipeline; 7 – throttle nozzles; 8 – liquid CO₂ inlet pipe; 9 – product to be cooled. Compiled by the authors

Сублимация (возгонка) – переход вещества из твёрдого состояния сразу в парообразное, минуя стадию плавления (перехода в жидкое состояние) и кипения. Поскольку при возгонке изменяется удельный объём вещества и поглощается энергия (теплота сублимации), возгонка является фазовым переходом первого рода [10].

Теплоизолированный контур (поз. 1) и крышка (поз. 2) с фиксаторами (поз. 3) предназначены для эффективного ограничения тепловых поступлений в охлаждаемый объём через ограждающие конструкции установки, что позволяет минимизировать теплопритоки из окружающей среды и снизить нагрузку на холодильную систему.

В качестве продукта была выбрана продукция животного происхождения – кроличьи туши. Заполнение установки снегообразной углекислотой производится через входной патрубок подачи жидкого CO_2 (поз. 8), при этом хладагент, распределяясь через распределительный трубопровод (поз. 6) и дросселируясь в форсунках (поз. 7), равномерно поступает в нижнюю часть аппарата.

Для обеспечения принудительной циркуляции газовой среды используется вентилятор (поз. 5). Охлаждаемый продукт (поз. 9) подвешивается на крючки (поз. 4) таким образом, что продукт не соприкасается со снегообразной фракцией углекислоты. Такое конструктивное решение способствует эффективной циркуляции воздушно-газовой среды вокруг каждой тушки, исключая локальное переохлаждение и обеспечивая равномерность теплосъёма. Принцип работы заключается в следующем: вентилятор (поз. 5) направляет холодный воздушно-газовый поток в пространство между сырьём и крышкой (поз. 2), где он, омывая поверхность продукта (поз. 9), захватывает тепло. Нагретый поток отражается от стен теплоизолированного корпуса (поз. 1) и направляется вниз, в пространство между нижней частью продукта (поз. 9) и снегообразным диоксидом углерода, отдавая тепло последнему и одновременно захватывая тепло от нижней части продукта (поз. 9). За счёт подводимой теплоты углекислота интенсивно сублимирует, а воздушно-газовый поток при этом эффективно охлаждается [9].

Сублимация происходит в результате разности парциальных давлений (концентраций) пара CO_2 у поверхности снега и в окружающей среде. Быстро протекающий процесс сублимации приводит к образованию над поверхностью твердой фазы пограничного слоя, насыщенного паром CO_2 , парциальное давление которого соответствует температуре поверхности сублимирующегося снега. Данный механизм фазового перехода обеспечивает стабильно низкую температуру хладагента и высокую интенсивность охлаждения на протяжении всего цикла [11].

После этого поток вновь всасывается вентилятором (поз. 5), снова выдувается в верхнюю зону, и циклический процесс повторяется. Таким образом, реализуется замкнутая рециркуляционная схема движения охлаждающей среды.

Аппарат имеет возможность работать без применения диоксида углерода, что позволяет охлаждать пищевые продукты по стандартной технологии воздушного охлаждения.

После завершения технологической стадии на производственной линии отбирались туши кроликов с массой $1,3 \pm 0,15$ кг. В качестве контрольной группы использовались необеспеченные упаковкой туши, помещённые в аппарат для охлаждения и подвергнутые воздушному охлаждению в холодильной камере при температуре 0°C . Охлаждение контрольных образцов (воздушным способом) от начальной температуры $30 \pm 0,5^\circ\text{C}$ до диапазона $0 \div 4 \pm 0,5^\circ\text{C}$ заняло 9 ч.

Для охлаждения экспериментальных образцов применялся газообразный углекислый газ, полученный сублимацией CO_2 . Контроль качества кроличьих туш осуществлялся по совокупности показателей водоудерживающей способности и уровню pH.

Влагоудерживающую способность (ВУС) оценивали методом прессования Грау–Хамма в модификации для мышечной ткани. Из каждого образца готовили навеску массой $0,30\text{--}0,50$ г, которую механически гомогенизировали ножницами без нагрева до состояния фарша. Навеску помещали в центр листа фильтровальной бумаги (марка «синяя лента», обеззоленная), накрывали вторым листом, размещали между двумя стеклянными пластинами и прессовали под грузом, создающим давление 1 кг/см^2 , в течение 10 мин. После прессования на нижнем листе формировались два пятна: центральное (от спрессованного мяса) и периферическое

(от выделившейся свободной воды). Контуры периферического пятна аккуратно обводили мягким карандашом и измеряли его площадь с помощью полярного планиметра (точность 0,01 см²), проводя не менее трёх повторных обводок на каждый образец. ВУС вычисляли по формуле [12, 13]

$$\text{ВУС} = \left(1 - \frac{S_{\text{вода}}}{S_{\text{вода}} + S_{\text{мясо}}}\right) \cdot 100 \%,$$

где $S_{\text{вода}}$ – площадь периферического пятна; $S_{\text{мясо}}$ – площадь центрального пятна.

Измерение активной концентрации водородных ионов (рН) охлаждённого мяса кролика проводили с помощью лабораторного рН-метра, оснащённого комбинированным стеклянным электродом с автоматической температурной компенсацией.

Для анализа готовили суспензию: навеску мышечной ткани ($5,0 \pm 0,1$ г) гомогенизировали с предварительно охлажденной дистиллированной водой (соотношение 1 : 5, температура воды 0 ± 1 °С) в течение 30 с при 1500 об/мин. Гомогенат сразу же помещали в ледяную баню, погружали электрод (без создания воздушных пузырей) и по достижении стабильного сигнала (не более 60 с, критерий – дрейф менее 0,01 рН/10 с) фиксировали значение. Измерения проводили в трёх итерациях для каждого образца, между измерениями электрод промывали охлаждённой дистиллированной водой и осушали мягкой фильтровальной бумагой. За окончательный результат принимали среднее арифметическое с поправкой на температурный коэффициент. Все процедуры выполняли в охлаждаемой камере или с использованием штатива с криостатом, чтобы избежать нагрева образца выше +2 °С [14].

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 и 3 представлены зависимости изменения уровня рН и водоудерживающей способности при хранении.

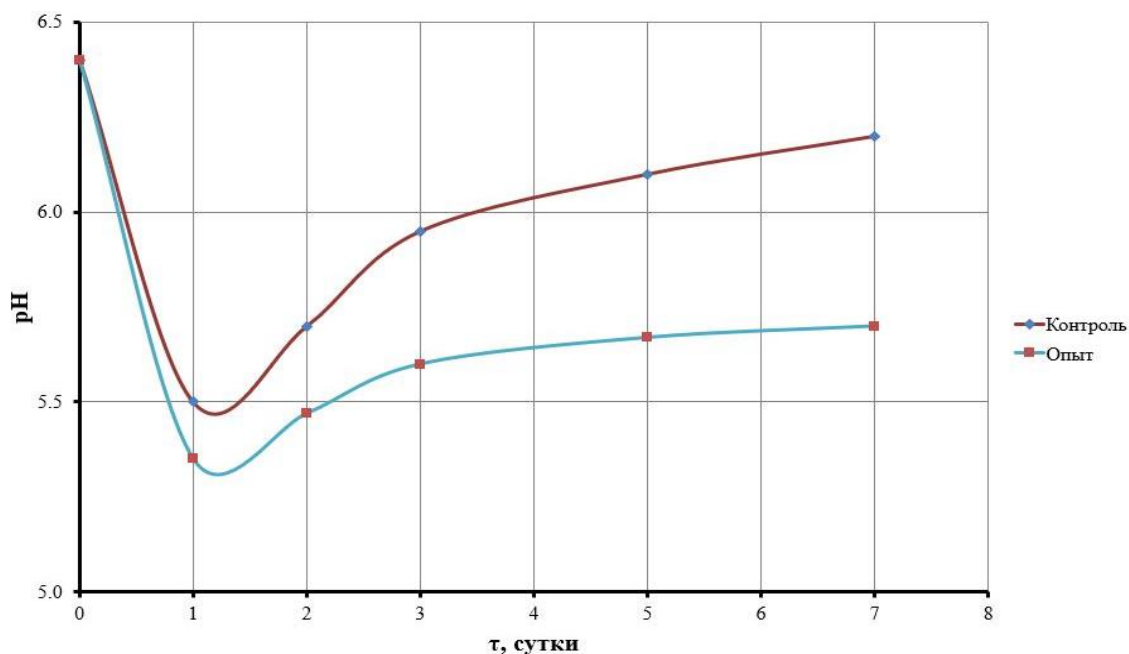


Рис. 2. Зависимость показателя рН крольчатины от продолжительности хранения.

Составлено авторами

Fig. 2. Dependence of the pH value of rabbit meat on storage duration. Compiled by the authors

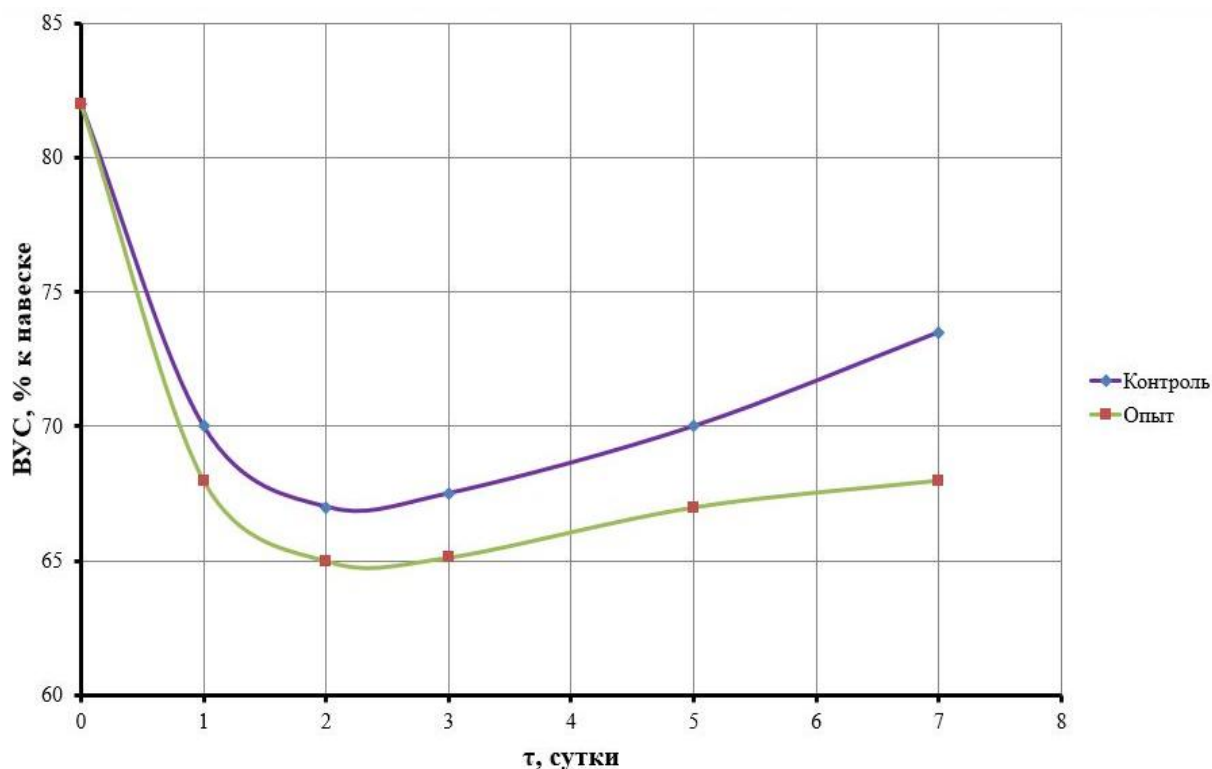


Рис. 3. Зависимость показателя водоудерживающей способности крольчатины от продолжительности хранения. Составлено авторами

Fig. 3. Dependence of the water-holding capacity of rabbit meat on storage duration. Compiled by the authors

Анализ полученных результатов показывает, что исходный показатель активной кислотности рН сырья равнялся 6,4 ед., что соответствует характеристикам мяса с обычным протеканием гликолитических процессов после убоя. Наименьшие значения рН фиксировались спустя сутки хранения: 5,5 при охлаждении в воздушной среде и 5,35 при использовании углекислого газа.

Понижение рН в изучаемых образцах было вызвано быстрым охлаждением тушек и проникновением CO_2 в мышечные ткани кролика, что привело к замедлению гликолиза. Далее, независимо от выбранного способа охлаждения, наблюдалось постепенное повышение рН у всех тушек, однако интенсивность восстановления кислотности в экспериментальных образцах оказалась выше, чем в контрольных.

Водоудерживающая способность кроличьего мяса демонстрирует зависимость от изменения рН как в экспериментальных, так и в контрольных образцах.

Исходя из динамики рН и показателей ВУС, можно сделать вывод о протекании автолитических процессов, связанных с завершением фазы *rigor mortis* у кролика в рассматриваемый период хранения. При этом охлаждение мяса углекислым газом замедляет скорость протекания этих автолитических изменений.

Заключение

Проведённые исследования подтвердили эффективность применения газообразного диоксида углерода для холодильной обработки тушек кроликов. Установлено, что данный метод оказывает комплексное влияние на качественные характеристики мяса, замедляя автолитические процессы.

В частности, охлаждение в среде CO_2 приводит к более выраженному снижению активной кислотности по сравнению с традиционным воздушным способом, что свидетельствует о замедлении гликолиза в мышечной ткани.

При последующем хранении в опытных образцах наблюдалось более интенсивное восстановление рН, а динамика водоудерживающей способности коррелировала с изменением кислотности. Полученные данные указывают на то, что обработка углекислым газом замедляет скорость протекания автолитических изменений, связанных с фазой *rigor mortis*.

Таким образом, разработанная технология охлаждения крольчатины с использованием газообразного CO₂ позволяет замедлить автолиз и увеличить допустимый срок хранения продукта в охлаждённом виде.

Полученные результаты обосновывают перспективность применения данного метода в промышленных условиях.

Список источников

1. Болдырева, М. С. Мясо кролей как сырье для производства колбасных изделий и консервов функционального назначения / М. С. Болдырева, Л. В. Антипова // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: материалы III Междунар. науч.-техн. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. Воронеж : ВГУИТ, 2016. С. 42–44.
2. Быков, И. М. Сравнительная оценка антиокислительной активности и содержания прооксидантных факторов у различных групп пищевых продуктов / И. М. Быков, А. А. Басов, М. И. Быков и др. // Вопросы питания. 2014. Т. 83, № 4. С. 75–81.
3. Волкова, О. В. Разработка и товароведная характеристика продуктов из мяса кролика : дис. ... канд. техн. наук: 05.18.15 / Волкова Ольга Васильевна. Кемерово, 2009. 126 с.
4. Волкова, О. В. Морфологический состав и биологическая ценность мяса кроликов / О. В. Волкова, А. Т. Инербаева, К. Я. Мотовилов // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2009. № 8. С. 97–101.
5. Антонов, А. А. Азотная система хладоснабжения на базе криогенного скороморозильного аппарата / А. А. Антонов, К. П. Венгер // Холодильный бизнес. 2002. № 6. С. 30–34.
6. ГОСТ 27747-2016. Мясо кроликов (тушки бройлеров, кроликов-бройлеров и их части). Технические условия: Межгосударственный стандарт: дата введения 2018-01-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. Изд. официальное. Москва : Стандартинформ, 2016. 12 с.
7. Авдиенко, В. В. Белковый состав крольчатины двух пород / В. В. Авдиенко, Н. Н. Забашта, Е. Н. Головкин // Сборник научных трудов Северо-Кавказского научно-исследовательского института животноводства. – 2017. – Т. 3. – №. 6.
8. Головкин, Н. А. Холодильная технология пищевых продуктов : учебник / Н. А. Головкин. Москва : Лёг. и пищ. пром-сть, 1984. 240 с.
9. Использование сублимирующего диоксида углерода для охлаждения пищевых продуктов / Н. Э. Алдамов, С. А. Бредихин // Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты и технологии : сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой 20-летию Технологического института / ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева. Москва, 2024. С. 34–38.
10. Сублимация (физика) // Википедия. Сводная энциклопедия URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Сублимация_\(физика\)#Сублимация_углекислого_газа_\(сухого_льда\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Сублимация_(физика)#Сублимация_углекислого_газа_(сухого_льда)) (дата обращения : 15.04.2026).
11. Неверов Е. Н., Короткий И. А., Плотников И. Б., Коротких П. С., Кожаев А. А. Исследование параметров процесса теплообмена при сублимации диоксида углерода // Вестник КрасГАУ. 2020. № 6. С. 215–222.
12. Grau, R. and Hamm, R. (1957). Über das Wasserbindungsvermögen des Säugetiermuskels. II. Mitteilung. Über die Bestimmung der Wasserbindung des Muskels. Zeitschrift für Lebensmittel-Untersuchung und Forschung, 105(6), pp.446–460.

13. Barge, M.T., Destefanis, G. and Pagano Toscano, A. (1991). Two reading techniques of the filter paper press method for measuring meat water-holding capacity. *Meat Science*, 29(2), pp.183–187.

14. ISO 2917:1999. Meat and meat products – Measurement of pH – Reference method». Geneva : International Organization for Standardization, 1999. 6 p.

Сведения об авторах

Н. Э. Алдамов – аспирант кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств.

С. А. Бредихин – доктор технических наук, профессор кафедры процессов и аппаратов перерабатывающих производств.

А. Ю. Нужденко – инженер-проектировщик.

Information about the authors

N. E. Aldamatov – Postgraduate student of the Department of Processes and Devices of Processing Industries.

S. A. Bredihin – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Processes and Devices of Processing Industries.

A. Yu. Nuzhdenko – Engineer-designer.

Статья поступила в редакцию 12.05.2026; одобрена после рецензирования 21.05.2026; принята к публикации 21.05.2026.

The article was submitted 12.05.2026; approved after reviewing 21.05.2026; accepted for publication 21.05.2026.

© Алдамов Н. Э., Бредихин С. А., Нужденко А. Ю., 2026.

«Воздействие углекислого газа на качество мяса кролика при охлаждении» [Алдамов Н. Э., Бредихин С. А., Нужденко А. Ю.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Обзорная статья
УДК 005.336:664

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-02

EDN: DBOYHH

Апробация методики оценки культуры пищевой безопасности на предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли: результаты и методические выводы

Елена Велориевна Глебова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия
glebova.ev@dgtru.ru, ORCID: 0000-0003-4366-3819

Аннотация. Представлены результаты апробации авторской методики оценки культуры пищевой безопасности (КПБ), разработанной на основе пяти ключевых элементов GFSI. Исследование проводилось на трех предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли Приморского края (условные наименования: Предприятие 1, Предприятие 2, Предприятие 3). Для апробации работоспособности методики была использована совокупность методов оценки: анкетирование по 5-балльной шкале Ликерта (n=127), фокус-группы (6 групп, 42 участника), структурированное наблюдение по чек-листу (12 производственных зон, 48 замеров), анализ документации. Полученные данные позволили верифицировать работоспособность методики, выявить отраслевые особенности восприятия элементов КПБ и сформулировать рекомендации по адаптации инструментов оценки. Установлено, что наиболее уязвимыми элементами КПБ на пилотных площадках являются «Адаптивность» (средний балл 2,8) и «Осведомленность о рисках» (3,1), тогда как «Миссия и ценности» демонстрируют наибольшую зрелость (4,2). Предложена скорректированная версия методики с упрощенным анкетным блоком (7 вопросов) и интегрированным мониторингом поведенческих индикаторов.

Ключевые слова: культура пищевой безопасности, рыбоперерабатывающая отрасль, GFSI, ГОСТ Р ИСО 22000-2019, элементы культуры пищевой безопасности, оценка уровня зрелости, апробация

Для цитирования: Глебова Е. В. Апробация методики оценки культуры пищевой безопасности на предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли: результаты и методические выводы // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76. № 2. С. 16–24.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 16–24.

FOOD SYSTEMS

Review article

Appraisal of food safety culture assessment methods in the fishery processing industry: results and methodological conclusions

Elena V. Glebova

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
glebova.ev@dgtru.ru, ORCID: 0000-0003-4366-3819

Abstract. The article presents the results of a pilot testing of the author's food safety culture (FSC) assessment methodology developed based on the five key GFSI elements. The study was conducted at three fish processing enterprises in Primorsky Krai (conventional names: Enterprise 1, Enterprise 2, Enterprise 3). A mixed-methods design was employed: 5-point Likert scale survey (n=127), focus groups (6 groups, 42 participants), structured observation using a checklist (12 production zones, 48 measurements), and document analysis. The obtained data allowed verification of the methodology's operational feasibility, identification of industry-specific perceptions of FSC elements, and formulation of recommendations for adapting assessment tools. It was found that the most vulnerable FSC elements at the pilot sites were "Adaptability" (mean score 2.8) and "Risk Awareness" (3.1), while "Mission and Values" demonstrated the highest maturity (4.2). A revised version of the methodology is proposed, featuring a streamlined survey module (7 questions) and integrated monitoring of behavioral indicators.

Keywords: food safety culture, fish processing industry, GFSI, GOST R ISO 22000-2019, elements of food safety culture, maturity level assessment, pilot study

For citation: Glebova E. V. Appraisal of food safety culture assessment methods in the fishery processing industry: results and methodological conclusions. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):16–24. (In Russ.).

Введение

В предыдущем исследовании [1] автором была предложена концептуально-методологическая основа формирования и оценки культуры пищевой безопасности (КПБ) на предприятиях пищевой промышленности, основные элементы которой наглядно представленная на рис. 1.

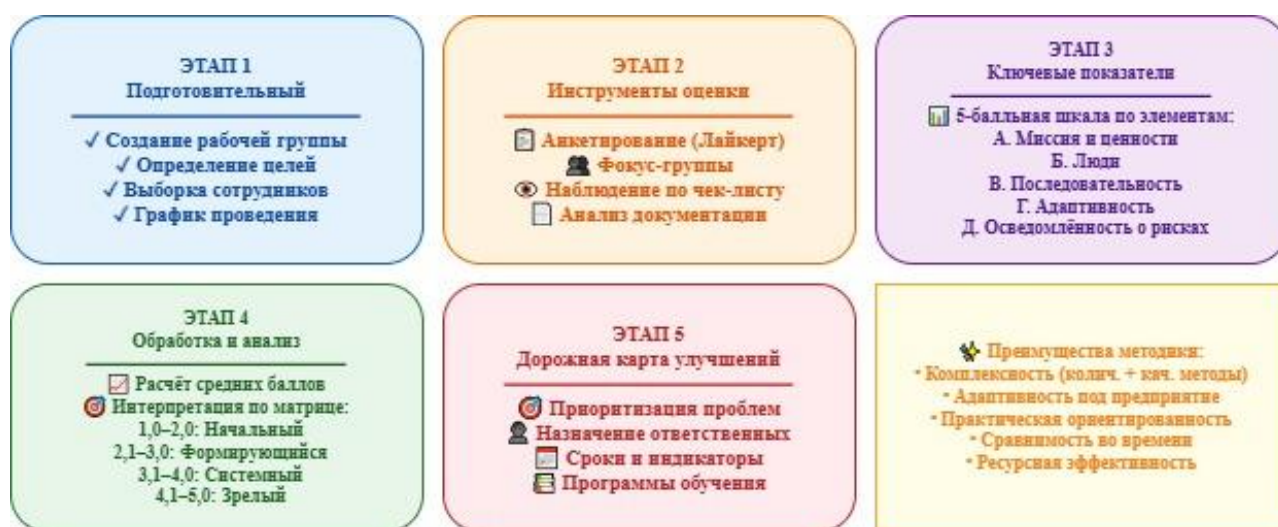


Рис. 1. Методика оценки культуры пищевой безопасности: 5 этапов. Составлено автором [1]

Fig. 1. Food Safety Culture Assessment Methodology: 5 Stages. Compiled by the author [1]

Однако любая методика, претендующая на практическое применение, требует эмпирической верификации в реальных производственных условиях. Особенно актуально это для отраслей с высокой динамикой рисков, таких как рыбоперерабатывающая отрасль, где сочетаются короткие сроки хранения сырья, сложные цепочки поставок и жесткие требования к показателям безопасности.

Цель исследования – апробация методики оценки КПБ на предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли, оценка ее практической применимости и формулировка методических рекомендаций по совершенствованию инструментов оценки.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- проведена оценка уровня зрелости КПБ на трех предприятиях рыбоперерабатывающего сектора с использованием разработанной 5-этапной методики [1];
- проведено сравнение результатов оценки по пяти элементам GFSI между предприятиями разного масштаба и организационной структуры с применением методов статистического анализа;
- выявлены барьеры и ограничения при применении методики в реальных условиях;
- сформулированы рекомендации по адаптации методики для последующего широкого внедрения.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились на кафедре «Управление техническими системами» ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз» (г. Владивосток, Приморский край) в условиях трех предприятий рыбоперерабатывающей отрасли Приморского края в период с декабря 2025 г. по апрель 2026 г.

Объект исследования – КПБ как элемент корпоративной среды на предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли.

Предмет исследования – применимость и ограничения авторской методики оценки уровня зрелости КПБ [1].

Характеристики площадок для апробации:

- Предприятие 1 – крупный вертикально-интегрированный холдинг (численность персонала более 500 чел., экспортная ориентация, сертифицирован по ГОСТ Р ИСО 22000-2019, FSSC 22000);

- Предприятие 2 – среднее предприятие (численность 150–200 чел., работа на внутренний рынок, сертифицирован по ГОСТ Р ИСО 22000-2019);

- Предприятие 3 – малое предприятие (численность менее 50 чел., отсутствие внешней сертификации, фокус на локальном рынке).

Для проведения исследований применялись теоретические методы (анализ, синтез, систематизация), эмпирические методы (анкетирование, наблюдение, фокус-группы, анализ документации, табл. 1) и специальные методы (авторская методика оценки КПБ, методы статистической обработки данных). Статистическая обработка проводилась в среде MS Excel и SPSS Statistics с использованием критерия Краскела–Уоллиса для сравнения трех независимых выборок (уровень значимости $\alpha=0,05$).

Таблица 1

Инструменты пилотной оценки КПБ

Table 1

Pilot assessment tools FSC

Метод	Цель	Объем выборки / охват	Период проведения
1	2	3	4
Анкетирование (5-балльная шкала Лайкерта)	Количественная оценка восприятия 5 элементов КПБ	127 респондентов (42–45 чел. на предприятие, стратифицированная выборка по уровням управления)	Март–апрель 2026 г.
Фокус-группы (6–8 чел.)	Глубинное понимание барьеров, мотивации, интерпретации вопросов анкеты	6 групп (по 2 на предприятие: линейный персонал, специалисты, руководство)	Март 2026 г.
Наблюдение по чек-листу	Оценка реального поведения в производственных зонах	12 зон (приемка сырья, разделка, склад и др.), по 4 наблюдения на предприятие	Февраль–март 2026 г.

Анализ документации	Оценка формального закрепления элементов КПБ в политиках, процедурах, отчетах	3 комплекта документов на предприятие (политика безопасности, планы обучения, отчеты по инцидентам)	Декабрь 2025 г. – февраль 2026 г.
---------------------	---	---	-----------------------------------

Результаты и их обсуждение

Результаты апробации методики оценки КПБ, полученные четырьмя методами (табл. 1), сгруппированы отдельно по каждому методу и представлены ниже.

1. Количественные результаты анкетирования.

Средние баллы по элементам КПБ представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

Средние баллы оценки элементов КПБ по предприятиям (5-балльная шкала Ликерта)

Table 2

Average scores for the PBC elements by enterprise (5-point Likert scale)

Элемент КПБ	Предприятие 1, балл	Предприятие 2, балл	Предприятие 3, балл	Среднее по выборке, балл
А. Миссия и ценности	4,5	4,1	3,9	4,2
Б. Люди	3,8	3,4	3,0	3,4
В. Последовательность	4,0	3,6	3,2	3,6
Г. Адаптивность	3,2	2,7	2,5	2,8
Д. Осведомленность о рисках	3,5	3,0	2,8	3,1
Интегральный показатель	3,8	3,4	3,1	-

Примечание. Интегральный показатель рассчитан как среднее арифметическое по пяти элементам методики оценки КПБ.

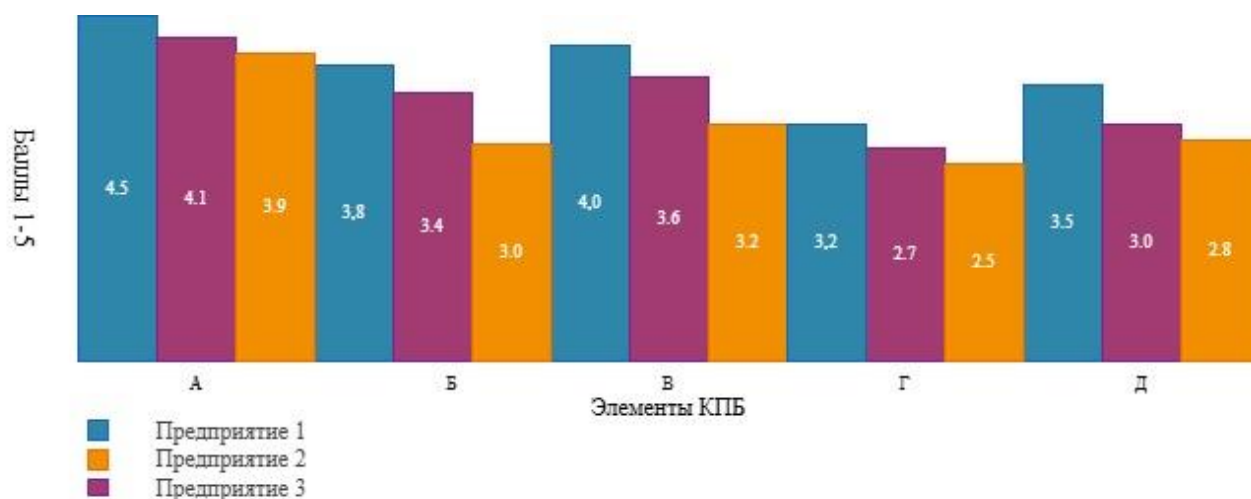


Рис. 2. Средние баллы оценки элементов КПБ по предприятиям. Источник: расчеты автора

Fig. 2. Average scores for the assessment of Food Safety Culture (FSC) elements by enterprises.

Source: author's calculations

Полученные результаты интерпретировали по матрице зрелости методики оценки КПБ [1] и получили следующие данные:

- Предприятие 1 – уровень «Системный» (3,1–4,0) с тенденцией к «Зрелому» (4,1–5,0) по элементам А и В;

- Предприятие 2 – пограничный уровень между «Формирующимся» (2,1-3,0) и «Системным»;

- Предприятие 3 – уровень «Формирующийся».

Также интерпретацию результатов, представленных в табл. 2, проводили по пяти элементам методики оценки КПБ [1]. Ниже представлены результаты по каждому элементу.

Элемент А «Миссия и ценности» (средний 4,2):

- разброс между предприятиями: 0,6 балла (от 3,9 до 4,5);

- Предприятие 1 (4,5) демонстрирует «Зрелый» уровень, Предприятие 3 (3,9) «Системный».

Интерпретация: формальное закрепление ценностей в документах (политиках, кодексах) работает эффективно независимо от масштаба предприятия. Однако разрыв в 0,6 балла указывает на то, что на малых предприятиях коммуникация ценностей менее системна.

Элемент Б «Люди» (средний 3,4):

- разброс: 0,8 балла (от 3,0 до 3,8) наибольший после «Адаптивности»;

- Предприятие 1 (3,8) верхняя граница «Системного», Предприятие 3 (3,0) нижняя граница «Системного» / «Формирующийся».

Интерпретация: крупные предприятия имеют ресурсы для системного обучения и построения обратной связи. Малые предприятия сталкиваются с дефицитом рабочих кадров.

Элемент В «Последовательность» (средний 3,6):

- разброс: 0,8 балла (от 3,2 до 4,0).

Интерпретация: интересно, что этот элемент показывает второй по величине средний балл, хотя в первой статье (одиночное предприятие) он был самым низким (2,8). Это может объясняться отраслевой спецификой или эффектом «социальной желательности» в ответах.

Элемент Г «Адаптивность» (средний 2,8):

- разброс: 0,7 балла (от 2,5 до 3,2).

Интерпретация: первая критическая зона: Предприятие 3 (2,5) находится в зоне «Формирующегося» уровня, Предприятие 1 (3,2) только нижняя граница «Системного».

Это самый слабый элемент на всех трех предприятиях. Даже крупное предприятие с внешней сертификацией не достигает «Зрелого» уровня. Это системная отраслевая проблема рыбопереработки: сезонность сырья, нестабильность поставок, санкционные ограничения создают среду, где адаптивность критически важна, но недостаточно развита.

Элемент Д «Осведомленность о рисках» (средний 3,1):

- разброс: 0,7 балла (от 2,8 до 3,5).

Интерпретация: вторая критическая зона. Предприятие 3 (2,8) «Формирующийся» уровень. Сотрудники понимают риски на бытовом уровне, но системное управление рисками отсутствует.

Для сравнения баллов по элементам КПБ между тремя предприятиями применялся непараметрический критерий Краскела–Уоллиса [2, 3, 4], так как данные представлены в порядковой шкале (5-балльная шкала Ликерта) и не подчиняются нормальному распределению [5, 6]. Обоснование использования непараметрических методов для анализа поведенческих и психологических данных подробно представлено в работах Тюрина Ю. Н. и Макарова А. А. [3], Лапача С. Н. с соавторами [4], а также Наследова А. Д. [7]. Уровень значимости принят $\alpha = 0,05$. При обнаружении статистически значимых различий проводился post-hoc анализ с поправкой Бонферрони [5]. Статистическая обработка выполнена в среде SPSS Statistics.

1. Статистический анализ различий результатов количественной оценки анкетирования с применением критерия Краскела–Уоллиса ($\alpha=0,05$) показал, что различия между предприятиями статистически значимы для элементов «Люди» ($H=6,12$, $p=0,047$) и «Адаптивность» ($H=7,34$, $p=0,025$). Для элемента «Миссия и ценности» различия не достигли статистической значимости ($H=4,21$, $p=0,122$), что подтверждает вывод о равномерно высоком уровне формализации ценностей независимо от масштаба.

В качестве основного вывода, по количественной оценке, анкетирования можно назвать выявление тенденции (не строгая корреляция ввиду малого числа предприятий) к зависимости между масштабом / внешней сертификацией предприятия и уровнем зрелости КПБ. Однако наличие сертификата не гарантирует высоких баллов по элементам «Адаптивность» и «Осведомленность о рисках» – эти элементы требуют отдельного внимания и целенаправленных управленческих воздействий.

2. Качественные результаты фокус-групп.

Тематический анализ выявил три ключевых барьера:

- «Разрыв между декларацией и практикой»: сотрудники отмечают, что «на словах безопасность – приоритет, но при срыве плана давление возрастает» (Предприятие 2, фокус-группа линейного персонала);

- дефицит обратной связи: 78 % респондентов на Предприятии 3 не знают, куда сообщать о потенциальных рисках без страха санкций;

- формализм в обучении: тренинги воспринимаются как «галочка», отсутствует привязка к реальным производственным ситуациям.

При этом позитивным фактором стала высокая готовность персонала участвовать в улучшениях при условии поддержки руководства (цитата: «Если начальник сам моет руки перед входом в цех – мы тоже будем»).

3. Результаты наблюдения и анализа документации.

Наблюдение по чек-листу (48 чек-листов, 12 производственных зон, 4 замера на зону) выявило расхождение между декларируемым и фактическим поведением:

- на всех предприятиях зафиксированы нарушения правил гигиены (неполная смена средств индивидуальной защиты, пропуск мойки рук) в 12–18 % от общего числа пунктов чек-листа;

- на Предприятии 1 система видеонаблюдения с автоматизированной аналитикой способствовала снижению нарушений на 40 % за период исследования (с 15 % в феврале до 9 % в марте);

- документальный анализ показал, что только на Предприятии 1 элементы КПБ явно интегрированы в должностные инструкции и КРІ руководителей.

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что результаты апробации подтвердили работоспособность предложенной методики оценки уровня КПБ, все четыре инструмента оценки взаимодополняли друг друга, позволяя получить многомерную картину состояния КПБ.

Однако в процессе проведения апробации также были выявлены следующие трудности в апробации методики и замечания к ее содержанию:

- избыточность анкетного блока: 15 вопросов (по 3 на элемент) вызывали утомление респондентов, особенно на Предприятии 3. Было принято решение сократить анкетный блок до 5–7 ключевых вопросов с сохранением охвата всех элементов. Пример скорректированного анкетного блока представлен в табл. 3;

Таблица 3

Скорректированный анкетный блок

Table 3

Adjusted questionnaire block

№	Вопрос	Элемент КПБ
1	Я понимаю, как мои ежедневные действия влияют на безопасность продукции*	Элемент А. «Миссия и ценности»
2	Я чувствую себя комфортно, сообщая о потенциальных рисках, даже если это замедлит работу	Элемент Б. «Люди»
3	Мой руководитель демонстрирует приоритет безопасности в сложных ситуациях	Элемент В. «Последовательность»

4	При изменении условий (новое сырье, оборудование) мы быстро получаем инструкции	Элемент Г. «Адаптивность»
5	Я знаю, какие риски наиболее вероятны на моем рабочем месте	Элемент Д. «Осведомленность о рисках»
6	Решения в области безопасности принимаются на основе данных, а не «по привычке»	Элемент А. «Миссия и ценности» Элемент В. «Последовательность» Интегральный
7	В целом я считаю, что безопасность продукции – реальная ценность нашей компании, а не просто формальность	Интегральный

* Шкала: 1 – полностью не согласен; 2 – скорее не согласен; 3 – затрудняюсь ответить; 4 – скорее согласен; 5 – полностью согласен.

- необходимость отраслевой адаптации: для рыбоперерабатывающих предприятий критически важны вопросы, связанные с контролем температуры, сроками хранения, работой с сырьем сезонного поступления – их следует включить в чек-лист наблюдения;

- риск «социальной желательности»: при анкетировании сотрудники склонны завышать оценки. Компенсировать это позволяет корреляция с данными наблюдения и анализа инцидентов.

В процессе проведения апробации методики оценки КПБ были отмечены следующие ограничения в проведенном исследовании:

- временной диапазон – 5 месяцев, явно недостаточен для оценки долгосрочной динамики КПБ;

- выборка предприятий – 3 предприятия, ограничивает возможности статистического обобщения;

- сезонный фактор – исследование проводилось в зимне-весенний период, что может влиять на характер нарушений;

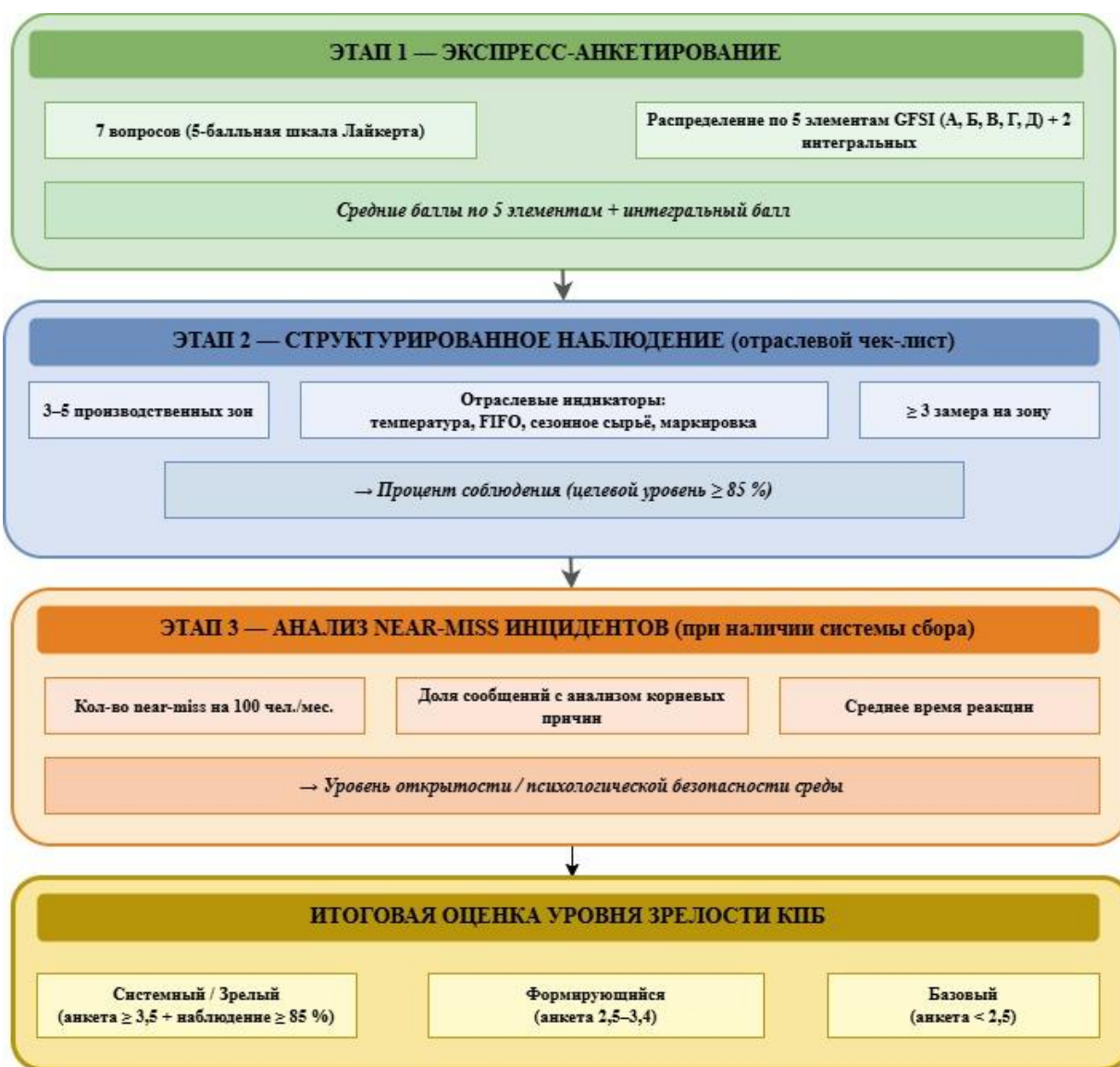
- отсутствие анализа near-miss инцидентов [8], несмотря на то, что данный инструмент был запланирован, но не реализован из-за отсутствия систем сбора таких данных на предприятиях.

Заключение

Апробация методики подтвердила практическую применимость авторского подхода к оценке КПБ на предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли. Интегральные показатели зрелости КПБ составили: Предприятие 1 – 3,8 («Системный»), Предприятие 2 – 3,4 (пограничный уровень), Предприятие 3 – 3,1 («Формирующийся»). Наблюдается тенденция к зависимости уровня зрелости КПБ от масштаба предприятия и наличия внешней сертификации.

Наиболее уязвимыми элементами КПБ являются «Адаптивность» (средний балл 2,8) и «Осведомленность о рисках» (3,1). Это требует приоритетного внимания при разработке корректирующих мероприятий, особенно на малых и средних предприятиях. Наиболее развитым элементом является «Миссия и ценности» (4,2), что объясняется закреплением ценностей в политиках. Однако разрыв между декларацией и практикой, выявленный в фокус-группах, указывает на необходимость усиления поведенческого компонента.

На основании полученных результатов предложена скорректированная версия методики оценки КПБ (рис. 3), включающая сокращенный анкетный блок (7 вопросов), отраслевой чек-лист наблюдения (контроль температурных режимов, соблюдение сроков хранения, работа с сезонным сырьем) и, при наличии системы сбора, анализ near-miss инцидентов. Для малых предприятий допускается сокращение методики до двух этапов (анкетирование и наблюдение).



Примечание: для малых предприятий допускается сокращение до двух этапов (анкетирование + наблюдение)

Рис. 3. Скорректированная методика оценки культуры пищевой безопасности (КПБ) для предприятий рыбоперерабатывающей отрасли. Составлено автором на основе результатов апробации [1]
 Fig. 3. Adjusted methodology for assessing food safety culture (FSC) for fish processing enterprises. Compiled by the author based on the results of the approbation [1]

В качестве дальнейших исследований по использованию методики оценки КПБ планируется:

- разработать и внедрить дорожную карту улучшения КПБ для Предприятия 1;
- провести долгосрочный мониторинг (12–24 месяца) на Предприятии 1 для оценки динамики КПБ после внедрения дорожной карты улучшений;
- разработать упрощенную версию методики для малых предприятий с акцентом на ключевые поведенческие индикаторы (3–4 вопроса анкеты, 1 фокус-группа, 1 день наблюдения);
- расширить выборку до 10–15 предприятий для подтверждения выявленных статистических закономерностей.

Следует отметить, что развитие КПБ на предприятии является не разовым мероприятием, а представляет собой непрерывный процесс, требующий системного подхода, лидерства руководства и вовлечения каждого сотрудника. Предложенная и верифицированная методика позволяет перевести этот процесс из области абстракций в плоскость измеримых управленческих решений.

Список источников

1. Глебова Е. В. Культура пищевой безопасности как ключевой фактор обеспечения качества и безопасности продукции на предприятиях пищевой промышленности // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 74, № 1. С. 19–28.
2. Kruskal W. H., Wallis W. A. Use of ranks in one-criterion variance analysis // Journal of the American Statistical Association. 1952. Vol. 47, No. 260. P. 583–621.
3. Тюрин, Ю. Н. Непараметрические методы статистики : учеб. пособие / Ю. Н. Тюрин. Москва : Знание, 1978. 65 с.: ил. (Новое в жизни, науке, технике. Серия : Математика, кибернетика. № 4). Режим доступа: по подписке. URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=458382> (дата обращения : 06.04.2026). Текст: электронный.
4. Лапач С. Н., Чубенко А. В., Бабищ П. Н. Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel. Киев : Морион, 2000. 320 с.
5. Norman G. Likert scales, levels of measurement and the “laws” of statistics // Advances in Health Sciences Education. 2010. Vol. 15, No. 5. P. 625–632.
6. Jamieson S. Likert scales: how to (ab)use them // Medical Education. 2004. Vol. 38, No. 12. P. 1217–1218.
7. Наследов А. Д. Математические методы психологического исследования. Анализ и интерпретация данных. СПб. : Речь, 2004. 392 с.
8. Долинов А. Л., Генералов М. В. Программа Near-miss – инструмент совершенствования системы выявления производственных опасностей и предотвращения несчастных случаев в организации // Безопасность и охрана труда. 2022. № 4. С. 32–36.

Информация об авторе

Е. В. Глебова – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры управления техническими системами, SPIN-код: 9540-4656, AuthorID: 740901.

Information about the author

E. V. Glebova – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technical Systems Management, SPIN-code: 9540-4656, AuthorID: 740901.

Статья поступила в редакцию 06.04.2026; одобрена после рецензирования 12.05.2026; принята к публикации 12.05.2026.

The article was submitted 06.04.2026; approved after reviewing 12.05.2026; accepted for publication 12.05.2026.

© Глебова Е. В., 2026.

«Апробация методики оценки культуры пищевой безопасности на предприятиях рыбоперерабатывающей отрасли: результаты и методические выводы» [Глебова Е. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Применение функции желательности Харрингтона для комплексной оценки качества рецептур тонизирующих напитков

Владимир Алексеевич Голденков¹, Елизавета Вячеславовна Крюкова²

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

¹ vovagoldenkov@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7467-1602

² kryukovaev@mgupp.ru, ORCID: 0000-0001-6858-3618

Аннотация. Было установлено, что разработка тонизирующих напитков со сниженным содержанием сахара относится к классу многокритериальных задач, поскольку снижение сахара должно сопровождаться сохранением органолептической приемлемости и соблюдением требований к содержанию тонизирующих компонентов (прежде всего кофеина). Показано, что применение функции желательности Харрингтона позволяет формализовать качество напитка путём приведения разнородных показателей к единой безразмерной шкале и расчёта интегрального показателя качества на основе взвешенной обобщённой желательности. Впервые предложена математическая модель комплексной оценки качества тонизирующих напитков со сниженным содержанием сахара, включающая: формализацию качества напитка через систему частных откликов; определение весовых коэффициентов показателей качества методом анализа иерархий; расчёт интегрального показателя качества как взвешенного геометрического среднего частных желательностей.

Ключевые слова: тонизирующие напитки, энергетические напитки, сниженное содержание сахара, функция желательности Харрингтона, весовые коэффициенты, АНР, интегральный показатель качества, многокритериальная оптимизация

Для цитирования: Голденков В. А., Крюкова Е. В. Применение функции желательности Харрингтона для комплексной оценки качества рецептур тонизирующих напитков // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 25–35.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 25–35.

Original article

Application of the Harrington desirability function for comprehensive quality assessment of tonic beverage formulations

Vladimir A. Goldenkov¹, Elizaveta V. Kryukova²

Russian Biotechnological University (ROSBIOTECH), Moscow, Russia

¹ vovagoldenkov@gmail.com, ORCID: 0009-0005-7467-1602

² kryukovaev@mgupp.ru, ORCID: 0000-0001-6858-3618

Abstract. It was established that the development of tonic beverages with reduced sugar content belongs to the class of multicriteria problems, since sugar reduction must be accompanied by the preservation of organoleptic acceptability and compliance with requirements for the content of tonic components (primarily caffeine). It is shown that the application of the Harrington

ton desirability function makes it possible to formalize beverage quality by converting heterogeneous indicators to a unified dimensionless scale and calculating an integral quality index based on weighted overall desirability. For the first time, a mathematical model for the comprehensive quality assessment of reduced-sugar tonic beverages is proposed, including: formalization of beverage quality through a system of partial responses; determination of weighting coefficients for quality indicators using the Analytic Hierarchy Process; and calculation of the integral quality index as a weighted geometric mean of partial desirabilities.

Keywords: tonic beverages, energy drinks, reduced sugar content, Harrington desirability function, weighting coefficients, AHP, integral quality index, multicriteria optimization

For citation: Goldenkov V. A., Kyukova E. V. Application of the Harrington desirability function for comprehensive quality assessment of tonic beverage formulations. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):25–35. (In Russ.).

Введение

В современных условиях научно-технологическое развитие сегмента тонизирующих напитков характеризуется одновременным усилением требований к потребительским свойствам и повышенным вниманием к составу, в том числе к содержанию свободных сахаров [1, 2]. Согласно подходу ВОЗ ограничение потребления свободных сахаров рассматривается как важная мера профилактики алиментарно-зависимых нарушений. При этом целесообразным признаётся снижение доли свободных сахаров до менее 10 % энергетической ценности рациона, с предпочтительным ориентиром менее 5 % [1–3].

Выявлено, что на рынке энергетических напитков отмечается высокое содержание сахара в продуктах данной категории (выше 10 г на 100 мл), что подтверждает актуальность реформуляции [4–6]. Однако снижение сахара в напитках сопряжено с риском ухудшения баланса вкуса, ароматического профиля и общего восприятия качества, что требует применения количественных методов оптимизации, ориентированных на компромисс между несколькими целями.

Нормативная база ЕАЭС требует обеспечения безопасности и достоверной маркировки пищевой продукции [16, 17]. Для тонизирующих напитков применим ГОСТ 34975–2023 (дата введения в действие: 01.01.2027) и ГОСТ Р 52844–2007 (дата завершения срока действия: 01.01.2027), регламентирующие требования к продукции, включая нормирование кофеина и методы контроля ряда показателей [10].

Следовательно, качество рецептуры должно рассматриваться как интегральная категория, объединяющая:

- сенсорную приемлемость (органолептический профиль);
- состав (в частности, сахар);
- соответствие нормируемым уровням функциональных компонентов (кофеин и др.).

С этой целью предложено использовать функцию желательности Харрингтона как инструмент унификации разнородных показателей и построения обобщённого критерия качества.

Объекты и методы исследования

Объектом являлись опытные рецептуры безалкогольных тонизирующих напитков со сниженным содержанием сахара. Качество рецептуры (R) описывалось вектором частных показателей:

$$x(R) = x_1, x_2, \dots, x_k. \quad (1)$$

Для демонстрации методики использован набор показателей, отражающий технологическую специфику:

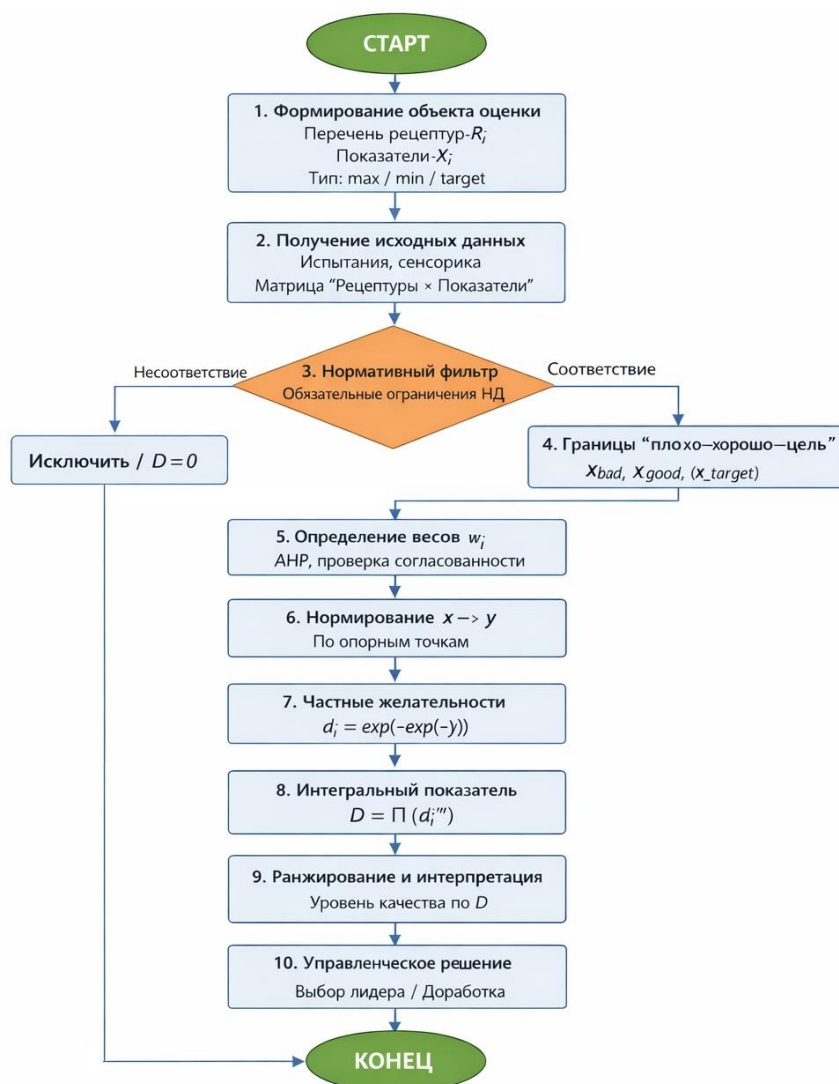
- S – органолептическая оценка (0–10 баллов; максимизация);
- G – содержание сахара, г/100 мл (минимизация);

- С – содержание кофеина, мг/100 мл (целевое значение, двусторонняя желательность);
- Т – содержание таурина, мг/100 мл (целевое значение, двусторонняя желательность).

Выбор кофеина как ключевого нормируемого компонента обусловлен требованиями к тонизирующим напиткам и необходимостью контроля массовой концентрации кофеина [9].

Целевые диапазоны для функциональных ингредиентов при постановке задачи могут задаваться на основе действующих требований и справочных ориентиров, используемых в отраслевой практике [9, 10].

Фактические значения показателей качества должны формироваться по результатам испытаний, выполняемых методами, предусмотренными для тонизирующих напитков (органолептические показатели, содержание кофеина, содержание сухих веществ и др.) [9, 10]. Обязательность соблюдения требований к безопасности и маркировке определяется действующими техническими регламентами [7, 8].



Блок-схема модели процесса. Составлено авторами
Flow chart of the process model. Compiled by the authors

Результаты и их обсуждение

Для профильной оценки целесообразно формировать обученную панель из 10–15 дегустаторов. Отбор, обучение и мониторинг дегустаторов выполняются по принципам, изложенным в руководствах по подготовке сенсорных оценщиков [11–13].

Критерии включения дегустаторов:

- отсутствие острых заболеваний и факторов, снижающих чувствительность (в день испытаний);
- отсутствие выраженной непереносимости компонентов напитка;
- подтверждённая способность различать базовые вкусы и различия интенсивности (по водным растворам сахарозы, лимонной кислоты и др.).

Обучение предусматривает 6–8 тренировочных сессий:

- освоение терминологии и дескрипторов профиля;
- калибровка по эталонным растворам (интенсивность сладости, кислотности, горечи) и эталонным ароматическим образцам;
- отработка воспроизводимости оценок (повторная подача контрольного образца в «слепом» формате).

Для количественной фиксации интенсивности дескрипторов целесообразно применять числовые/линейные шкалы с заданными точками (например, 0–10), что соответствует общим рекомендациям по использованию количественных шкал в сенсорном анализе [13, 14].

Чтобы интегрировать сенсорные данные в модель желательности, вводился единый органолептический показатель S (0–10 баллов). Его формирование допускает два подхода:

Подход А (обобщённое впечатление)

Дегустаторы ставят балл «общее качество/приемлемость» по шкале 0–10, далее рассчитывается среднее значение по панели. Подход широко используется на прикладных этапах НИОКР [13, 15, 16].

Подход Б (профиль + вес атрибутов)

Дегустаторы оценивают набор дескрипторов, затем рассчитываются веса атрибутов:

$$S = \sum_{j=1}^m \alpha_j \cdot s_j, \sum_{j=1}^m \alpha_j = 1, \quad (2)$$

где s_j – балл по дескриптору (сладость, кислотность, горечь, аромат, послевкусие, «тело» и др.); α_j – вес дескриптора; m – количество сенсорных дескрипторов. Выбор m и α_j фиксируется в протоколе сенсорной комиссии.

Определение показателей и подтверждение соответствия требованиям осуществлялось согласно нормативной базе для тонирующих напитков, включая требования к кофеину и методы контроля, предусмотренные стандартом на продукцию [9, 10]. Проверка соответствия обязательным требованиям безопасности и маркировки выполнялась согласно требованиям технических регламентов [7, 8].

При выходе нормируемого показателя за пределы допустимых значений вводится правило $d_i = 0 \Rightarrow D_w = 0$, что исключает рецептуру независимо от остальных достоинств [9, 17].

Статистическая обработка проводилась для обеспечения воспроизводимости и доказательности выводов по сенсорному качеству [13, 15].

Первичная обработка:

- расчёт среднего значения $\bar{x}$, стандартного отклонения s , коэффициента вариации $CV\%$ по каждому образцу;
- контроль выбросов (рекомендуется применение формализованных критериев при достаточном объёме наблюдений).

Проверка воспроизводимости панели:

- внутридегустаторная повторяемость (SD по повторным оценкам одного дегустатора);
- междегустаторная согласованность (например, коэффициент альфа Кронбаха как диагностический показатель внутренней согласованности шкалы при профильной оценке).

Проверка различимости образцов:

- при приближённой нормальности распределений и гомогенности дисперсий: однофакторный ANOVA (фактор «рецептура») либо смешанная модель (фиксированный фактор «рецептура», случайный фактор «дегустатор»);
- при нарушении предпосылок параметрических тестов: непараметрические аналоги (например, критерий Краскела–Уоллиса).

Для определения весовых коэффициентов критериев w_i применялся метод анализа иерархий (АНР), основанный на попарных сравнениях критериев и вычислении нормированного вектора приоритетов [18, 19].

Формирование матрицы попарных сравнений. Элемент a_{ij} отражает относительную важность критерия i по сравнению с j по шкале Саати:

$$a_{ji} = 1/a_{ij}. \quad (3)$$

Расчёт вектора весов. Для практических вычислений в табличных процессорах допускается метод геометрических средних строк:

$$GM_i = \left(\prod_{j=1}^n a_{ij} \right)^{1/n}, w_i = \frac{GM_i}{\sum_{i=1}^n GM_i} \quad (4)$$

(приближение к главному собственному вектору матрицы).

Проверка согласованности. Рассчитывались показатели:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A \cdot w)_i}{w_i}, CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}, CR = \frac{CI}{RI}, \quad (5)$$

где RI – случайный индекс Саати (для $n = 4$ обычно принимают $RI = 0,90$) [18]. Матрица предпочтений считается согласованной при $CR \leq 0,10$.

Частная желательность (d) рассчитывалась по зависимости

$$d = \exp\{-\exp(-y)\}, \quad (6)$$

где $d \in [0; 1]$, (y) – приведённое (кодированное) значение показателя [20, 21].

Переход от натурального показателя x к y осуществлялся линейным преобразованием

$$y = a + bx, \quad (7)$$

коэффициенты a и b определялись из заданных граничных условий, сформулированных в терминах шкалы желательности [17, 20, 21].

Для практической интерпретации использована шкала, в которой значения порядка $d \approx 0,37$ соответствуют нижней границе приемлемости, а $d \approx 0,80$ – уровню «хорошо» [20–22].

Классический подход к обобщению частных желательностей основан на геометрическом среднем:

$$D = \left(\prod_{i=1}^k d_i \right)^{1/k}. \quad (8)$$

Для учёта неодинаковой значимости показателей качества применена взвешенная форма

$$D_w = \prod_{i=1}^k d_i^{w_i}, \sum_{i=1}^k w_i = 1. \quad (9)$$

Использование весов позволяет формализовать продуктовую концепцию (например, приоритет снижения сахара при сохранении сенсорной приемлемости) и повысить воспроизводимость решений по выбору рецептуры [17, 23].

Было доказано, что равнозначное агрегирование показателей может исказить итоговый выбор рецептуры при различной критичности отдельных критериев для продукта и нормативного соответствия [17, 23].

Следовательно, весовые коэффициенты должны определяться формализованно с контролем согласованности экспертных суждений [18, 19].

Для определения w_i использован метод анализа иерархий (АНР), основанный на попарных сравнениях критериев по шкале Саати и вычислении нормированного главного собственного вектора матрицы предпочтений [18]. Применимость АНР для задач, связанных с оценкой качества пищевых продуктов и сенсорными данными, подтверждается профильными исследованиями [19].

Цель – максимизация интегрального качества напитка. Критерии: S, G, C, T . На основании экспертных предпочтений (органолептика и снижение сахара – доминирующие критерии; кофеин и таурин – значимы, но при соблюдении нормативов в пределах целевых диапазонов их вклад в дифференциацию рецептур снижается) была сформирована матрица попарных сравнений

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1 & 1 & 2 & 2 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \\ 1/2 & 1/2 & 1 & 1 \end{pmatrix}. \quad (10)$$

Методика получения весов соответствует стандартной процедуре АНР [18, 19].

В результате вычислений получены веса: $w_S = 0,333$; $w_G = 0,333$; $w_C = 0,167$; $w_T = 0,167$. Согласованность экспертных оценок должна контролироваться коэффициентом согласованности CR , и при $CR \leq 0,1$ матрица предпочтений считается приемлемой [5, 6].

Граничные условия задавались в терминах качества «плохо/хорошо» и целевых уровней. Такой подход соответствует логике желательность-оптимизации для нескольких откликов [17, 23].

Принята следующая постановка:

- S – максимизация: $7,0 \Rightarrow d = 0,37$; $S = 8,5 \Rightarrow d = 0,80$;
- G – минимизация: $10,0 \Rightarrow d = 0,20$; $G = 4,0 \Rightarrow d = 0,80$. Обоснование верхней границы связано с распространённостью высокосахарных энергетических напитков в исследованиях рынка, что делает значение порядка 10 г/100 мл типичным «нежелательным» уровнем для концепции снижения сахара;
- C – целевое значение: $25 \Rightarrow d = 0,37$; $30 \Rightarrow d = 0,80$; $35 \Rightarrow d = 0,37$, что согласуется с практикой задания целевого диапазона функционального компонента при соблюдении требований к кофеину;
- T – целевое значение: $30 \Rightarrow d = 0,37$; $35 \Rightarrow d = 0,80$; $40 \Rightarrow d = 0,37$.

Преобразование выполнялось через обратную функцию

$$y = -\ln[-\ln(d)], \quad (11)$$

после чего коэффициенты a, b находились по двум (или трём для двустороннего случая) опорным точкам [17, 20].

Таблица 1

Итоговые зависимости

Table 1

Final dependencies

Показатель	Тип	Преобразование (y)
S	max	$y_S = -6,9671 + 0,9961S$
G	min	$y_G = 2,8172 - 0,3293G$
C	target	$\begin{cases} y_C = -7,4651 + 0,2988C, & C \leq 30 \\ y_C = 10,4650 - 0,2988C, & C > 30 \end{cases}$
T	target	$\begin{cases} y_T = -8,9593 + 0,02988T, & T \leq 35 \\ y_T = 11,9592 - 0,02988T, & T > 35 \end{cases}$

Рассмотрены три рецептуры со сниженным сахаром:

- R1: ($S = 8,2$), ($G = 4,9$), ($C = 30$), ($T = 35$).
- R2: ($S = 8,0$), ($G = 4,0$), ($C = 32$), ($T = 38$).
- R3: ($S = 7,5$), ($G = 2,5$), ($C = 28$), ($T = 30$).

Таблица 2

Пример рецептуры

Table 2

An example formulation

Рецептура R1				
№		г/л; кг/т	%	°Brix
1	Сахар	49,0000	4,9000	4,9000
2	Лимонная кислота	0,7250	0,0725	n/a
3	Сукралоза (x600)	0,1000	0,0100	n/a
4	Сорбат калия	0,2500	0,0250	n/a
5	Бензоат натрия	0,1500	0,0150	n/a
6	Кофеин	0,3000	0,0300	n/a
7	Таурин	0,3500	0,0350	n/a
8	Вода	958,7750	95,8775	n/a

Частные желательности рассчитывались по

$$d = \exp\{-\exp(-y)\}. \quad (12)$$

Интегральная оценка производилась по формуле

$$D_w = d_S^{0,333} \cdot d_G^{0,333} \cdot d_C^{0,167} \cdot d_T^{0,167}. \quad (13)$$

Таблица 3

Значения интегрального показателя рецептов

Table 3

Values of the integral index of formulations

Рецептура	d_s	d_G	d_c	d_T	D_w
R1	0,7402	0,7333	0,8000	0,8000	0,7573
R2	0,6927	0,8000	0,6665	0,5787	0,7008
R3	0,5465	0,8727	0,6665	0,3700	0,6187

Интерпретация итогового уровня качества выполняется по шкале желательности, значения D_w порядка 0,63–0,80 соответствуют уровню «хорошо», а 0,37–0,63 – «удовлетворительно». Следовательно, R1 и R2 относятся к уровню «хорошо», R3 – к верхней границе «удовлетворительно».

Проведённые расчёты свидетельствуют о том, что ранжирование рецептов зависит от весов w_i , т.е. от формализованной продуктовой концепции. Для задач, где доминирует требование минимизации сахара, веса могут перераспределяться в пользу G , что допустимо при повторном АНР-опросе экспертной группы.

Первичный этап – проверка обязательных ограничений безопасности и соответствия (в том числе по кофеину, методам контроля, маркировке) [7, 8].

Правило: при нарушении обязательного требования соответствующая частная желательность принимается равной нулю $d = 0$, следовательно, $D_w = 0$, и рецептура исключается из дальнейшей оптимизации.

Для практического управления разработкой предлагается использовать пороговую интерпретацию:

- ($D_w < 0,37$) – рецептура отклоняется как неприемлемая;
- ($0,37 \leq D_w < 0,63$) – требуется направленная доработка (идентификация «слабого звена» по минимальным (d_i);
- ($0,63 \leq D_w < 0,80$) – допуск к пилотной партии/расширенным испытаниям;
- ($D_w \geq 0,80$) – приоритет для внедрения при подтверждении стабильности показателей.

При доработке рекомендуется анализировать структуру (D_w): низкие значения отдельных (d_i) указывают на направление корректировок (сенсорный профиль, сахар, дозировка кофеина/таурина).

Вывод

Практическое применение предложенной модели носит комплексный характер и охватывает ключевые этапы разработки и сопровождения рецептов тонизирующих напитков. В условиях НИОКР модель обеспечивает формализованное математическое ранжирование альтернативных рецептов на основе интегрального показателя качества, что позволяет существенно сократить количество экспериментальных итераций, повысить воспроизводимость принимаемых решений и минимизировать субъективный фактор при выборе оптимального варианта. При реализации реформуляции, связанной со снижением содержания сахара, модель даёт возможность количественно оценивать компромисс между балансом компонентов и сенсорной приемлемостью продукта, что особенно актуально с учётом устойчивого присутствия на рынке энергетических напитков с высоким содержанием сахара и ужесточения требований к составу. Интеграция модели в систему производственного контроля позволяет использовать расчёт взвешенной обобщённой желательности (D_w) в качестве внутреннего интегрального показателя (KPI) качества при условии неизменности весовых коэффициентов и граничных

условий, обеспечивая сопоставимость результатов во времени. Кроме того, модель поддерживает принятие управленческих решений в части соответствия нормативным требованиям безопасности и маркировки, поскольку предусматривает реализацию «жёсткого» ограничения через правило $d = 0$ при выходе показателя за допустимые пределы, что исключает из рассмотрения рецептуры, не соответствующие обязательным регламентам.

Заключение

1. Было установлено, что задачи разработки тонизирующих напитков со сниженным содержанием сахара относятся к многокритериальным, поскольку снижение сахара должно сопровождаться сохранением органолептической приемлемости и соблюдением требований к тонизирующим компонентам.

2. Впервые предложена математическая модель комплексной оценки качества тонизирующих напитков со сниженным содержанием сахара на основе функции желательности Харрингтона, обеспечивающая перевод разнородных показателей в единую шкалу и расчёт интегрального показателя качества.

3. Доказано, что применение желательности-подхода (Harrington–Derringer–Suich) методически корректно для одновременной оптимизации нескольких откликов и позволяет получать воспроизводимый критерий качества при задании граничных условий «плохо/хорошо/целевое значение».

4. Показано, что введение весовых коэффициентов принципиально влияет на ранжирование рецептур; следовательно, веса должны определяться формализованно. Метод анализа иерархий (АНР) обеспечивает получение весов на основе экспертных предпочтений с контролем согласованности.

5. Установлено, что принятие решений по рецептурам целесообразно проводить в два этапа: (а) нормативный фильтр соответствия требованиям безопасности и маркировки; (б) ранжирование по D_w и направленная доработка по минимальным d_i .

6. Практическая значимость модели заключается в её применимости для НИОКР, реформуляции, производственного контроля и подготовки внутренней нормативно-технической документации, при условии метрологически обеспеченных измерений и стабильных правил задания граничных условий.

Список источников

1. Всемирная организация здравоохранения. WHO calls on countries to reduce sugars intake among adults and children (news release, 04.03.2015) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/news/item/04-03-2015-who-calls-on-countries-to-reduce-sugars-intake-among-adults-and-children> (дата обращения : 19.01.2026).

2. Всемирная организация здравоохранения. Guideline: sugars intake for adults and children [Электронный ресурс]. Женева, 2015. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789241549028> (дата обращения : 19.01.2026).

3. Всемирная организация здравоохранения. Use of non-sugar sweeteners: WHO guideline. Женева, 2023 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240073616> (дата обращения : 19.01.2026).

4. Uca E., Güleç H. A. Process optimization for the extraction of phenolic compounds from pomegranate peels: response surface methodology–desirability function and artificial neural network-genetic algorithm // Akademik Gıda. 2024. Vol. 22, № 1. P. 23–33. DOI: 10.24323/akademik-gida.1460968.

5. Hashem K. M., He F. J., MacGregor G. A. Cross-sectional surveys of the amount of sugar, energy and caffeine in sugar-sweetened drinks marketed and consumed as energy drinks in the UK between 2015 and 2017: monitoring reformulation progress // BMJ Open. 2018. Vol. 8. e018136. DOI: 10.1136/bmjopen-2017-018136.

6. Lydie M. Energy drink consumption, psychological distress, and suicidality among middle and high school students // *Journal of Affective Disorders*. 2024. DOI: 10.1016/j.jad.2020.03.004.
7. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции. Принят Решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 880.
8. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 022/2011. Пищевая продукция в части её маркировки. Принят Решением Комиссии Таможенного союза от 09.12.2011 № 881.
9. ГОСТ 34975–2023. Напитки безалкогольные тонизирующие. Общие технические условия. Введ. 2023-01-01. М. : Стандартинформ, 2023.
10. ГОСТ Р 52844—2007. Напитки безалкогольные тонизирующие. Общие технические условия. Введ. 2008-01-01. М. : Стандартинформ, 2007.
11. ISO 8586:2012. Sensory analysis – General guidelines for the selection, training and monitoring of selected assessors and expert sensory assessors. Geneva : ISO, 2012.
12. ISO 13299:2016. Sensory analysis – Methodology – General guidance for establishing a sensory profile. Geneva : ISO, 2016.
13. Lawless H. T., Heymann H. Sensory evaluation of food: principles and practices. 2nd ed. New York : Springer, 2010. DOI: 10.1007/978-1-4419-6488-5.
14. ISO 4121:2003. Sensory analysis – Guidelines for the use of quantitative response scales. Geneva : ISO, 2003.
15. Meilgaard M., Civille G. V., Carr B. T. Sensory evaluation techniques. 5th ed. Boca Raton: CRC Press, 2015. DOI: 10.1201/b19493.
16. ISO 8589:2007. Sensory analysis – General guidance for the design of test rooms. Geneva: ISO, 2007.
17. NIST/SEMATECH. e-Handbook of Statistical Methods. Multiple responses: The desirability approach [Электронный ресурс]. URL: <https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/pri/section5/pri5322.htm> (дата обращения : 19.01.2026).
18. Saaty T. L. The analytic hierarchy process – what it is and how it is used // *Mathematical Modelling*. 1987. Vol. 9, № 3–5. P. 161–176. DOI: 10.1016/0270-0255(87)90473.
19. Fogliatto F. S., Albin S. An AHP-based procedure for sensory data collection and analysis in quality and reliability applications // *Food Quality and Preference*. 2003. Vol. 14. P. 375–385. DOI: 10.1016/S0950-3293(03)00006-5.
20. Harrington E. C. The desirability function // *Industrial Quality Control*. 1965. Vol. 21. P. 494–498.
21. Королёва С. В. Практические аспекты использования функции желательности в медико-биологическом эксперименте // *Современные проблемы науки и образования*. 2011. № 6.
22. Доровских В. В. и др. Сравнение объектов исследования при помощи обобщённой функции желательности Харрингтона // *Наука в Центральной России*. 2020. № 3(45). С. 79–85.
23. Derringer G., Suich R. Simultaneous optimization of several response variables // *Journal of Quality Technology*. 1980. Vol. 12, № 4. P. 214–219. DOI: 10.1080/00224065.1980.11980968.

Сведения об авторах

В. А. Голденков – аспирант «4.3.3 Пищевые системы», SPIN-код: 6697-3268, AuthorID: 1252638.
 Е. В. Крюкова – доктор технических наук, профессор кафедры «Пищевая безопасность», SPIN-код: 4208-7580, AuthorID: 357878.

Information about the authors

V. A. Goldenkov – Postgraduate student of 4.3.3 Food Systems, SPIN-code: 6697-3268, AuthorID: 1252638.
 E. V. Kryukova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Food Safety, SPIN-code: 4208-7580, AuthorID: 357878.

Статья поступила в редакцию 18.05.2026; одобрена после рецензирования 28.05.2026; принята к публикации 28.05.2026.

The article was submitted 18.05.2026; approved after reviewing 28.05.2026; accepted for publication 28.05.2026.

© Голденков В. А., Крюкова Е. В., 2026.

«Применение функции желательности Харрингтона для комплексной оценки качества рецептур тонизирующих напитков» [Голденков В. А., Крюкова Е. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 641.053.5:664.69.022.39:582.394.7

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-04

EDN: ETOXDO

Разработка технологии лапши домашней с добавлением папоротника орляка (*Pteridium aquilinum*) для использования в системе школьного питания

Елена Александровна Гуз¹, Наталья Юрьевна Чеснокова²,
Алла Алексеевна Кузнецова³

¹ Министерство образования Приморского края, Владивосток, Россия

¹⁻³ Передовая инженерная школа «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», ДВФУ, Владивосток, Россия

¹ guzelena@list.ru, ORCIDID: 0000-0003-3700-2360

² chesnokova.nyu@dvfu.ru, ORCIDID: 0000-0003-3713-8831

³ kuznetsova.aa@dvfu.ru, ORCIDID: 0000-0001-5972-6904

Аннотация. Рассматривается актуальная проблема низкой пищевой ценности традиционных макаронных изделий, изготовленных из пшеничной муки, и обосновывается необходимость их обогащения биологически ценными компонентами. Особое внимание уделяется значимости этой задачи в контексте школьного питания, где рацион должен обеспечивать растущий организм всеми необходимыми нутриентами для полноценного развития и поддержания здоровья. На первом этапе исследования посредством анкетирования учащихся был проведен анализ предпочтений в отношении гарниров, подаваемых в школьных столовых. Результаты опроса показали, что макаронные изделия занимают второе место по популярности (52 % опрошенных), уступая лишь картофельному пюре (61 %), что подтверждает перспективность использования макаронных изделий в качестве базового продукта для нутриентной модификации – внедрения дополнительных полезных компонентов без существенного изменения привычных вкусовых характеристик. В рамках исследования разработана оригинальная рецептура лапши домашней с добавлением пюре папоротника орляка. Экспериментальным путем определен оптимальный уровень замены яичной смеси на пюре папоротника, составляющий до 40 %. Проведена комплексная оценка качества обогащенных образцов, включающая органолептический анализ и физико-химические исследования (кислотность, содержание сухих веществ, перешедших в варочную среду, коэффициент увеличения массы при варке). Результаты оценки показали, что приготовленные образцы лапши имели желтый цвет со слабовыраженным зеленым оттенком и гладкую поверхность. По вкусовым характеристикам они соответствовали традиционным макаронным изделиям, дополняясь легким, ненавязчивым привкусом и ароматом папоротника. Все исследованные физико-химические параметры соответствовали установленным нормативам. Проведенное исследование подтверждает возможность эффективного обогащения макаронных изделий путем добавления пюре из папоротника орляка, что открывает новые перспективы для совершенствования школьного питания.

Ключевые слова: макаронные изделия, обогащение продуктов, школьное питание, папоротник орляк, нутриентная модификация, рецептура, органолептические характеристики, физико-химические показатели

Для цитирования: Гуз Е. А., Чеснокова Н. Ю., Кузнецова А. А. Разработка технологии лапши домашней с добавлением папоротника орляка (*Pteridium aquilinum*) для использования в системе школьного питания // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 36–52.

FOOD SYSTEMS

Original article

Development of a technology for homemade noodles with the added *Pteridium aquilinum* use in the school meal system

Elena A. Guz¹, Natalia Yu. Chesnokova², Alla A. Kuznetsova³

¹ Ministry of Education of Primorsky Krai, Vladivostok, Russia

¹⁻³ Department of Food Science and Technology Advanced Engineering School «Institute of biotechnologies, bioengineering and food systems» Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

¹ guzelena@list.ru, ORCIDID: 0000-0003-3700-2360

² chesnokova.nyu@dvfu.ru, ORCIDID: 0000-0003-3713-8831

³ kuznetsova.aa@dvfu.ru, ORCIDID: 0000-0001-5972-6904

Abstract. This article examines the current problem of the low nutritional value of traditional pasta products made from wheat flour and substantiates the need to enrich them with biologically valuable components. Particular attention is given to the significance of this issue in the context of school nutrition, where the diet must provide growing children with all the necessary nutrients for proper development and health. In the first stage of the study, preferences for side dishes served in school cafeterias were analyzed through a questionnaire administered to students. The survey results showed that pasta ranks second in popularity (52 %), second only to mashed potatoes (61 %). This confirms the potential of using pasta as a base product for nutrient modification – the introduction of additional beneficial components without significantly altering the traditional taste characteristics. As part of the study, an original recipe for homemade noodles with *Pteridium aquilinum* puree was developed. Experiments were conducted to determine the optimal level of egg mixture replacement with *Pteridium aquilinum* puree, amounting to up to 40 %. A comprehensive quality assessment of the fortified samples was conducted, including organoleptic analysis and physicochemical testing (acidity, dry matter content transferred to the cooking medium, and weight gain coefficient during cooking). The results showed that the cooked noodle samples were yellow with a faint green tint and a smooth surface. Their taste characteristics were consistent with traditional pasta, complemented by a light, unobtrusive flavor and aroma of *Pteridium aquilinum*. All physicochemical parameters tested met established standards. This study confirms the feasibility of effectively fortifying pasta by adding *Pteridium aquilinum* puree, opening up new possibilities for improving school nutrition.

Keywords: pasta, food fortification, school meals, *Pteridium aquilinum*, nutrient modification, recipe, organoleptic characteristics, physicochemical indicators

For citation: Guz E. A., Chesnokova N. Yu., Kuznetsova A. A. Development of a technology for homemade noodles with the added *Pteridium aquilinum* use in the school meal system. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):36–52. (in Russ.).

Введение

Изделия из простого теста, в частности домашняя лапша, активно используются в повседневном питании населения, а также входят в рацион при организации школьного питания. Для их производства применяют муку высшего и первого сорта, которые, как известно, отличаются дефицитом ряда важных нутриентов – в том числе пищевых волокон, белков, витаминов и иных биологически активных соединений. В этой связи одной из существенных задач современной пищевой промышленности становится разработка новых продуктов с привлече-

нием дикорастущего сырья местного происхождения. Такой подход преследует несколько целей. Во-первых, позволяет обогатить пищевую ценность готовых изделий за счет природных компонентов. Во-вторых, способствует расширению ассортимента функциональных продуктов питания. В-третьих, способствует популяризации полезных свойств дикоросов, произрастающих на территории Приморского края, что в перспективе может укрепить региональные традиции здорового питания.

По своей пищевой ценности макаронные изделия превосходят пшеничный хлеб. Это обусловлено использованием при их производстве муки с наиболее высоким содержанием белковых соединений. Химический состав макаронных изделий характеризуется следующими показателями: содержание белков варьируется в диапазоне 7–13 %, усвояемых углеводов – 75–79 %, жиров – 0,9 %, минеральных веществ – 0,6 %. Кроме того, в них присутствуют витамины группы В (В₁, В₂) и витамин РР, а также иные биологически активные соединения. Калорийность макаронных изделий составляет около 360 ккал в 100 г продукта. Примечательно, что усвояемость макаронных изделий превышает аналогичный показатель для круп. Так, степень усвоения белков составляет 85 %, углеводов – 98 %, жиров – 95 % [1].

В соответствии с Решением Комитета Совета Федерации по аграрно-продовольственной политике и природопользованию образовательные организации следует обеспечивать продукцией из дикоросов. Разработка изделий для детского питания с использованием дикорастущего сырья способна не только поднять статус региона, но и стать эффективной практикой, которую впоследствии можно транслировать в другие субъекты Российской Федерации. Так, в 2009 г. в Красноярске были успешно апробированы технологии производства пищевых продуктов для школьников с применением местного растительного сырья, в частности, клюквы, брусники, облепихи и лишайников, а также продуктов их переработки [2].

Приморский край обладает внушительными запасами дикорастущих растений, ягод и плодов. В местных лесах можно обнаружить разнообразные полезные для организма растения, среди которых – калина, лимонник, шиповник, боярышник, а также черемша, березовый и кленовый сок, мед и папоротник [3, 4].

Папоротник орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum*) может рассматриваться как перспективный ингредиент для расширения ассортимента пищевой линейки школьного питания в Приморском крае. Это обусловлено его биологическим составом, потенциальной пользой для здоровья и возможностью интеграции в рацион с учетом местных ресурсов.

В корневищах и побегах папоротника орляка присутствуют ценные биологически активные соединения, включая фитостерины, флавоноиды, катехины, гликозиды, органические кислоты, а также витамины и минеральные вещества [5]. Энергетическая ценность этого растения весьма невысока – всего 34 ккал на 100 г продукта. Благодаря содержанию пищевых волокон папоротник орляк способствует выведению из организма различных вредных соединений, оказывая тем самым детоксикационный эффект.

Папоротник орляк является один из съедобных представителей семейства папоротников, который широко используется в национальной кухне Японии, Кореи и Китая. Орляк отличается слабовыраженным грибным вкусом, при этом его аромат практически не ощущается. Данная особенность делает его универсальным ингредиентом. Растение успешно используют при изготовлении разнообразных кулинарных и мучных изделий [6–8]. Благодаря уникальности собственного вкуса папоротник гармонично сочетается практически с любыми пищевыми продуктами, деликатно дополняя их органолептические характеристики.

По содержанию белков папоротник орляк практически не уступает грибам и овощам (табл. 1).

Таблица 1

Химический состав папоротника орляка в сравнении с некоторыми растительными продуктами и грибами (в % к сырой массе) [9]

Table 1

Chemical composition of bracken fern in comparison with some plant products and mushrooms (in % of wet weight) [9]

Виды продуктов	Вода	Белки	Углеводы			Липиды	Зола
			Сахар	Крахмал	Клетчатка		
Папоротник орляк	94,4	2,4	1,1	0,3	1,6	0,4	0,5
Картофель	75,0	2,0	1,5	18,2	1,0	0,1	1,1
Морковь	88,5	1,3	6,0	0,2	1,2	0,1	1,0
Капуста белокочанная	90,0	1,8	4,6	0,5	0,7	-	0,7
Белые грибы	91,2	2,8	0,7	0,1	0,6	0,5	0,8
Маслята	93,8	1,3	0,4	0,04	0,4	0,3	0,5
Опята	90,8	1,6	0,2	0,05	0,5	0,5	0,8
Лисички	89,6	1,6	1,5	0,1	0,8	0,4	1,2

Исследование качественного состава белков папоротника орляка [10] показало, что фракция альбуминов составляет 37 %, проламинов – 16 %, глютелинов – 47 %. Таким образом, преобладающую долю в белковом комплексе папоротника орляка составляют глютелины, тогда как проламины представлены в наименьшей пропорции.

В молодых побегах папоротника орляка в заготовительной стадии зрелости общее содержание сахаров колеблется от 19,4 до 20,6 % от сухой массы. Углеводный состав представлен моно- и дисахаридами – глюкозой, фруктозой и сахарозой. В незначительных количествах также обнаруживаются галактоза и ксилоза. Ксилоза и галактоза выступают структурными компонентами геммицеллюлоз – они интегрированы в архитектуру клеточных стенок растительной ткани. Каркас клеток папоротника сформирован преимущественно целлюлозой, содержание которой составляет 12,5 %. В сопоставимых количествах присутствует лигнин – его доля достигает 11,7 %. Среди других структурных полисахаридов отмечены пектиновые вещества и геммицеллюлозы [11].

Таким образом, орляк обыкновенный, заготовленный в экологически чистых районах Приморского края, представляет существенную ценность для пищевой промышленности благодаря насыщенному химическому составу.

Целью данного исследования является разработка технологии производства лапши домашней с добавлением папоротника орляка обыкновенного, что позволит существенно расширить ассортимент полезных пищевых продуктов, включенных в школьное меню, повысить питательную ценность ежедневного рациона обучающихся, полноценно раскрыть и рационально использовать гастрономический потенциал региона, обогатив традиционную школьную кухню локальными продуктовыми ресурсами.

Объекты и методы исследования

Исследование предпочтений учащихся общеобразовательных организаций Приморского края в области школьного питания было реализовано посредством анкетирования. Сбор дан-

ных осуществлялся на специализированной платформе Федерального центра мониторинга питания (г. Москва), подведомственного Министерству просвещения Российской Федерации. Для проведения опроса были разработаны и размещены на веб-ресурсе <https://фцмпо.рф/опрос/> электронные анкеты (автор разработки – Дубров М. А.). После завершения этапа сбора первичных данных был выполнен комплексный анализ полученной информации. Обработка результатов анкетирования проводилась с использованием следующих программных продуктов MS Excel 2011 – для первичной систематизации данных, формирования сводных таблиц и визуализации результатов, а также Statistica 10 Enterprise (2011) – для углубленного статистического анализа, выявления значимых закономерностей и проверки гипотез.

Для производства лапши домашней в качестве сырья использовался соленый папоротник орляк, который подвергали многоэтапной предварительной обработке. Обработка включала вымачивание при гидромодуле 1 : 3–4 в течение 8–10 ч с регулярной сменой воды каждые 3–4 ч. После вымачивания воду сливали, однако часть жидкости оставляли в массе. Далее сырье бланшировали в течение 2–3 мин, затем пюрировали до состояния, пригодного для введения в тесто.

Физико-химические показатели пюре из папоротника орляка определяли по ГОСТ 28561-90, ГОСТ 26188-2016, ГОСТ 26186-84. Кислотность лапши домашней с добавлением пюре папоротника, а также количество сухого вещества, перешедшего в варочную среду и количество поглощенной во время варки воды определяли в соответствии с ГОСТ 31964-2012.

Измерение динамической вязкости пюре из папоротника орляка выполнялось с использованием реометра Fudon Rheometer (производитель – компания Rheotech Co. Ltd., Япония). Для проведения измерений применялся сферический плунжер (в качестве индикаторной насадки) диаметром 0,3 см. Плунжер погружали в исследуемый образец на глубину.

Эксперименты по оценке физико-химических и органолептических свойств разработанных образцов выполнялись серией повторных опытов – каждая серия воспроизводилась не менее четырех раз. Для обеспечения достоверности результатов за итоговое значение принималось среднеарифметическое четырех параллельных измерений.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время в Приморском крае по программам начального общего образования обучается 86 886 детей, что составляет 41 % от общего числа учащихся. В регионе насчитывается 31 107 детей льготных категорий, доля которых достигает 14,82 % от совокупного количества обучающихся. При этом всем учащимся начальных классов предоставляется бесплатное горячее питание – данная мера реализуется без каких-либо исключений [12, 13]. Бесплатное горячее питание предоставляется учащимся начальной школы один раз в течение учебного дня. Прием пищи может быть организован либо в формате завтрака, либо в формате обеда, при этом в каждом из указанных приемов пищи обязательно должно присутствовать первое блюдо. Время приема пищи и конкретный набор блюд каждое общеобразовательное учреждение определяет самостоятельно, строго соблюдая требования санитарно-эпидемиологических правил и нормативов СанПиН 2.3/2.4.3590-20 [14]. Указанный порядок организации питания подчеркивает актуальность проведения анализа удовлетворенности учащихся и их родителей качеством школьного рациона.

Поскольку более половины обучающихся получают горячее питание в школе, организация этого процесса нуждается в систематическом мониторинге – это необходимое условие для постоянного повышения качества соответствующих услуг. Результаты проведенного анализа удовлетворенности школьников и их родителей качеством питания визуализированы на рис. 1.

O24 Дети. № 6. Нравится ли Вам еда в школьной столовой. Гистограмма по виду местности

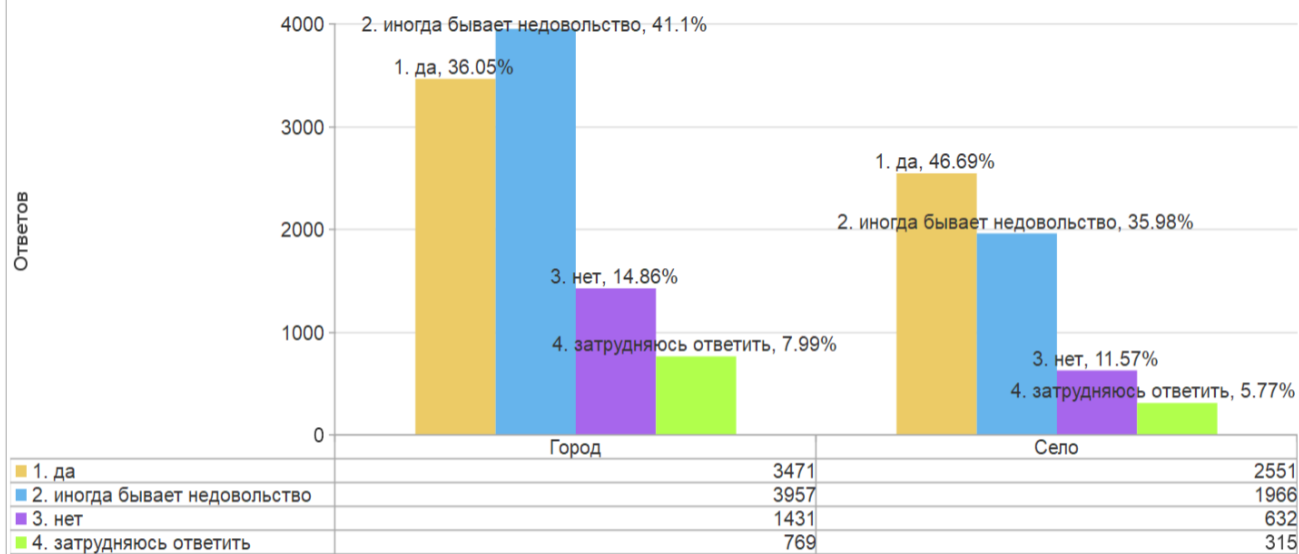


Рис. 1. Анализ ответов на вопрос «Нравится ли Вам еда в школьной столовой?». Составлено авторами
Fig. 1. Analysis of responses to the question «Do you like the food in the school cafeteria?». Compiled by the authors

Анализируя ответы на вопрос о качестве питания в школьных столовых, можно сделать вывод, что удовлетворенность учащихся зависит от типа населенного пункта. В сельской местности доля тех, кому нравится еда в школьной столовой, составляет – 46,69%, тогда как в городской местности этот показатель ниже и равен – 36,05%. При этом отмечается наличие недовольных питанием в обеих локациях. Однако, в городских школах процент неудовлетворенных заметно превышает сельский и составляет 14,86 % против 11,57 %. Различие в уровне недовольства отчасти объясняется особенностями организации питания в сельских школах, где большинство учреждений имеют в штате собственных поваров и осуществляют питание в самостоятельной форме. Такой подход дает руководству образовательных организаций возможность жестче контролировать процесс приготовления пищи и эффективнее распоряжаться финансовыми средствами, выделяемыми на закупку продуктов. Среди прочих причин недовольства школьным питанием выделяются высокая нагрузка на пищеблок и столовую, ведущая к образованию очередей и нехватке посадочных мест, а также нерациональное распределение времени между учебными занятиями и переменами, из-за чего у учащихся может не хватать времени на полноценный прием пищи. Для выявления доминирующих причин неудовлетворенности необходимо детально проанализировать ответы на вопрос: «Если не нравится еда в школьной столовой, то по каким причинам?». Результаты данного анализа визуализированы на рис. 2.



Рис. 2. Анализ ответов на вопрос «Если не нравится еда в школьной столовой, то по каким причинам?». Составлено авторами

Fig. 2. Analysis of responses to the question: «If you don't like the food in the school cafeteria, then for what reasons?». Compiled by the authors

Большинство респондентов (28 %) указывают на недостаточную продолжительность времени, отведенного на прием пищи (завтрак или обед). Согласно Методическим рекомендациям МР 2.4.0179-20 «Гигиена детей и подростков. Рекомендации по организации питания обучающихся общеобразовательных организаций» [15], продолжительность перемены для приема пищи должна составлять не менее 20 мин. Таким образом, выделенное на завтрак или обед время, судя по отзывам респондентов, оказывается меньше установленной нормы. Помимо нехватки времени, участники опроса выделяют и другие проблемы организации школьного питания. Так, 23 % респондентов недовольны вкусом блюд, приготовленных в столовой. Еще 16 % отмечают, что еду нередко подают остывшей. Вероятно, это связано с практикой предварительного накрытия столов – такой подход призван сократить очереди и время ожидания пищи. Однако неверный расчет временных интервалов и задержки обучающихся после уроков приводят к остыванию блюд. Это, в свою очередь, провоцирует высокий процент несъедаемости пищи, что имеет два негативных последствия. Во-первых, снижается поступление необходимых питательных веществ в организм ребенка, во-вторых, возрастают финансовые затраты государства на утилизацию пищевых отходов. Кроме того, 15 % опрошенных указывают на частое повторение одних и тех же блюд в меню школьных столовых. При этом действующие санитарно-эпидемиологические требования (СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения») допускают повторяемость блюд не чаще одного раза в три дня. Таким образом, наблюдается расхождение между нормативными предписаниями и реальной практикой организации питания в образовательных учреждениях.

Для определения наиболее популярных среди школьников горячих блюд завтрака необходимо провести анализ ответов на вопрос: «Какие горячие блюда завтрака Вам нравятся в школьной столовой?». Визуализация результатов анализа представлена на рис. 3. Детальный анализ облегчает восприятие данных и способствует более эффективному планированию меню школьной столовой с учетом реальных запросов обучающихся.



Рис. 3. Анализ ответов на вопрос: «Какие горячие блюда завтрака Вам нравятся в школьной столовой?». Составлено авторами

Fig. 3. Analysis of responses to the question: «What hot breakfast dishes do you like in the school cafeteria?». Compiled by the authors

Анализируя данные социологического опроса, проведенного осенью 2024 г., можно выявить предпочтения школьников Приморского края в отношении блюд школьного питания. Среди горячих блюд завтрака наибольшую популярность имеет омлет – его выбрали 29 % обучающихся. Второе место занимает творожная запеканка, получившая поддержку 27 % опрошенных, а третье – сырники, которые предпочли 25 % школьников. При анализе предпочтений относительно гарниров выявлено, что лидирующую позицию занимает картофельное пюре, его выбирают 61 % учащихся. На втором месте по популярности – макаронные изделия, набравшие 52 % голосов, на третьем – рис, который предпочли 33 % опрошенных школьников. Все представленные данные визуализированы на рис. 4, что позволяет наглядно оценить распределение предпочтений учащихся и использовать эту информацию для оптимизации меню школьных столовых.



Рис. 4. Анализ ответов на вопрос «Какой гарнир Вам нравится в школьной столовой?».

Составлено авторами

Fig. 4. Analysis of responses to the question «What side dish do you like in the school cafeteria?».

Compiled by the authors

Макаронные изделия в России получили широкое распространение не только в системе школьного питания – где они выступают как в роли гарнира, так и в качестве самостоятельного блюда, но и в домашней кулинарии, где прочно вошли в повседневный рацион. Однако существует технологическая проблема. Из-за ограниченного производства специальной макаронной муки, которую получают из твердых сортов пшеницы, основная масса макаронной продукции в стране изготавливается из мягкой хлебопекарной муки. Такой выбор сырья негативно сказывается на пищевой ценности конечного продукта. Макароны из мягкой муки отличаются высокой калорийностью, но при этом содержат до 70 % углеводов и крайне мало клетчатки и минеральных веществ, что снижает их полезность с точки зрения здорового питания [16]. В этой связи перспективным решением представляется разработка новых видов макаронных изделий с включением компонентов из дикорастущего сырья – в частности, папоротника орляка, произрастающего в Приморском крае. Подобный подход позволит решить комплекс задач, направленных на повышение пищевой ценности блюд, используемых в школьном питании, и сделать рацион учащихся более сбалансированным и полезным.

В ходе разработки технологии изготовления домашней лапши (как одного из видов макаронных изделий) с включением папоротника орляка удалось осуществить частичную замену яйцепродуктов на пюре из соленого папоротника. Перед использованием сырье подвергалось трем обязательным технологическим операциям: вымачиванию, бланшированию и пюрированию. Особое значение в технологическом процессе имеют стадии вымачивания и бланширования, поскольку они необходимы для интоксикации и инактивации биологически активных компонентов растения, так как в необработанном состоянии папоротник орляка обладает токсичными свойствами. В составе папоротника орляка присутствуют потенциально опасные вещества, такие как фермент тиаминидаза, который разрушает витамин В₁, а также птаквиллозид (РТА) – норсесквитерпеновый глюкозид, обладающий канцерогенными свойствами [17]. Нейтрализация этих токсичных соединений достигается посредством вымачивания со сменой водного раствора, с частотой повторения от 4 до 8 раз. При этом вымачивание без регулярной замены воды не позволяет полностью удалить птаквиллозид, вследствие чего готовый продукт может оставаться потенциально опасным для употребления [18–19]. Второй этап – бланширо-

вание – позволяет инактивировать фермент тиаминазу. Кроме того, остаточное количество тиаминазы полностью инактивируется в процессе варки продукта [19]. Органолептические и физико-химические показатели пюре папоротника орляка представлены в табл. 2.

Таблица 2

Органолептические и физико-химические показатели пюре папоротника орляка

Table 2

Organoleptic and physicochemical properties of bracken fern puree

Показатель	Значение
Органолептические показатели	
Внешний вид	Однородная, вязкая масса без комочков и посторонних включений. Возможен легкий серовато-зеленый оттенок
Цвет	От светло-зеленого до серовато-зеленого
Запах	Слабый, специфический
Вкус	Слегка горьковатый, вяжущий, с привкусом дикорастущих растений
Физико-химические показатели	
Влажность, %	85 ± 2
Активная кислотность (pH)	$6,8 \pm 0,2$
Массовая доля NaCl, %	$\leq 1,0$
Вязкость, мПа·с	1500–2000

Из результатов таблицы видно, что пюре папоротника представляет собой однородную, вязкую массу без комочков и посторонних включений с возможным легким серовато-зеленым оттенком, имеющую слабо выраженный специфический запах и слегка горьковатый вкус.

С целью определения рациональной дозировки пюре из папоротника в рецептуре домашней лапши были изготовлены три партии опытных образцов с уровнем замены яйцепродуктов на данную добавку в количестве 30, 40 и 50 %, после чего провели их органолептическую оценку. При разработке рецептуры основной задачей ставилось максимальное увеличение доли добавки при условии сохранения исходных органолептических показателей макаронных изделий. Технологическая схема приготовления лапши с добавлением пюре папоротника представлена на рис. 5.

Анализ органолептической оценки продемонстрировал, что замена яйцепродуктов на пюре из папоротника в дозировках 30 и 40 % не приводит к ухудшению вкусовых характеристик готовой лапши. Приготовленные образцы отличались желтым цветом со слабовыраженным зеленым оттенком, а их поверхность была гладкой, хотя и несколько более матовой по сравнению с классической лапшой. По вкусовым качествам и аромату изделия соответствовали традиционным макаронным продуктам, при этом отмечался лишь легкий, ненавязчивый привкус и запах папоротника. Слабовыраженный сладковато-травянистый оттенок проявлялся исключительно в послевкусии и не доминировал в общей вкусовой палитре. После варки форма макаронных изделий оставалась неизменной, а консистенция характеризовалась как упругая и эластичная – чуть менее «резинистая», чем у классической лапши, но при этом более нежная. Важно, что при соблюдении рекомендованного времени варки образцы не разваривались, сохраняя оптимальные текстурные свойства.

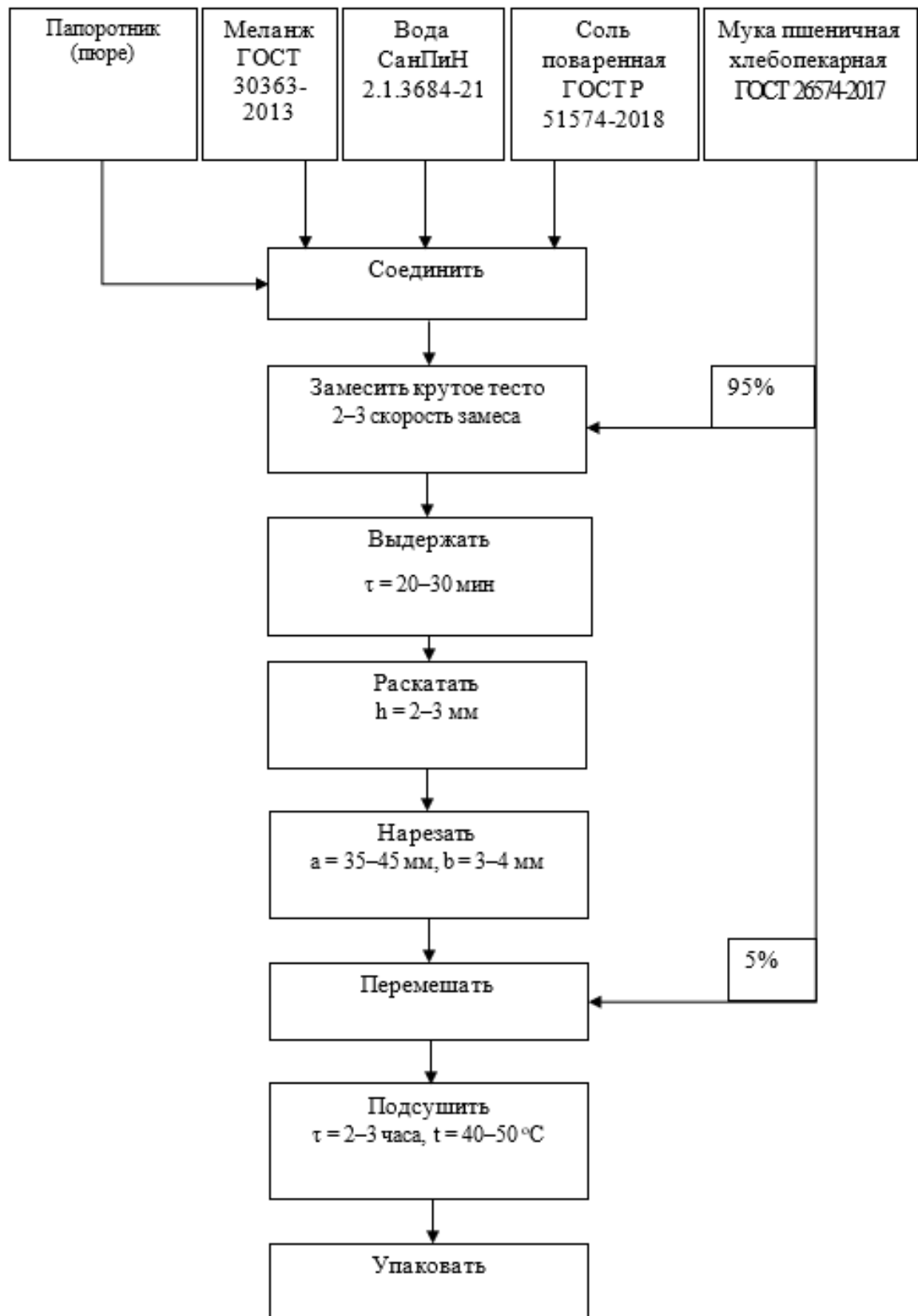


Рис. 5. Технологическая схема приготовления лапши с добавлением пюре папоротника.

Составлено авторами

Fig. 5. Technological scheme for preparing noodles with the addition of fern puree.

Compiled by the authors

Результаты органолептической оценки экспериментальных образцов лапши с добавлением пюре из папоротника представлены на рис. 6.

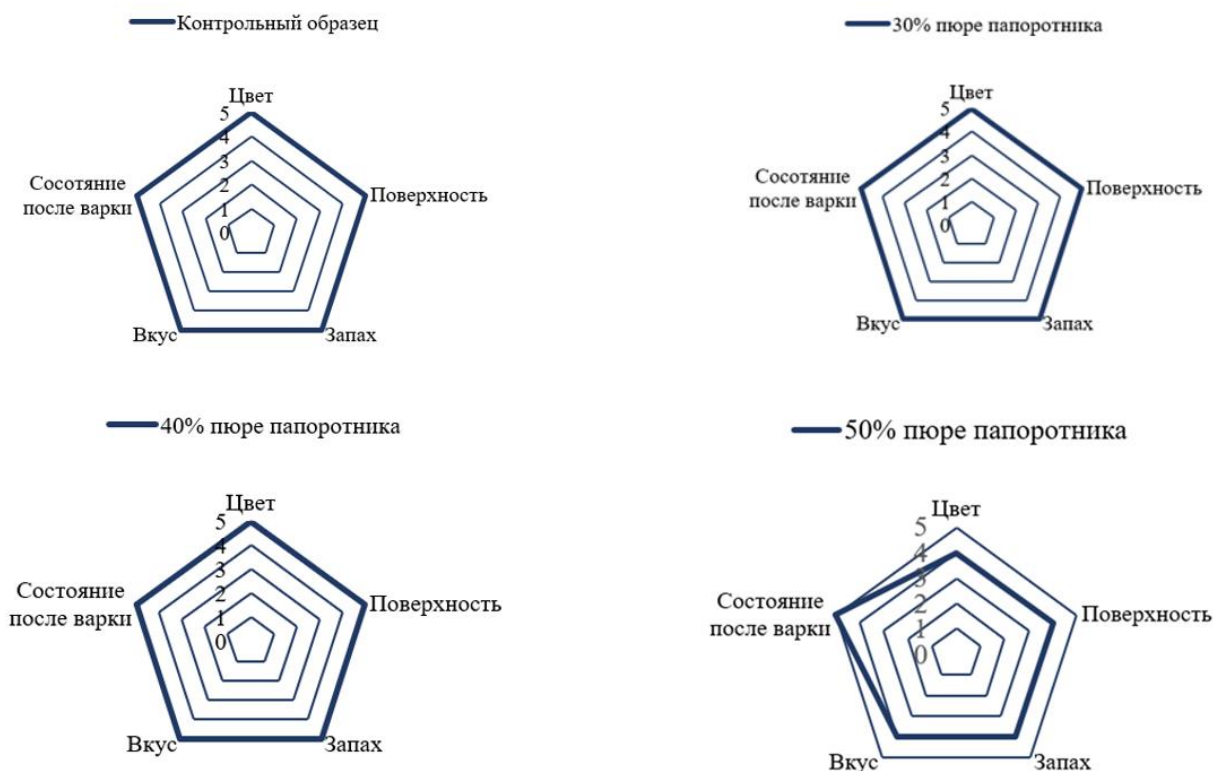


Рис. 6. Профилограммы органолептической оценки лапши домашней с добавлением пюре папоротника. Составлено авторами

Fig. 6. Profilograms of organoleptic evaluation of homemade noodles with the addition of fern puree. Составлено авторами

При замене яйцепродуктов на пюре папоротника в объеме 50 % у приготовленных образцов отмечались существенные изменения органолептических характеристик. В первую очередь проявился ярко выраженный травянистый привкус и запах папоротника, доминирующий в общей вкусовой палитре. Кроме того, изменилась текстура поверхности. Она стала излишне шероховатой, что визуально и тактильно отличало образцы от классической лапши, а также от образцов с 30 и 40 % заменой.

С целью анализа того, как варьирование доли пюре папоротника влияет на кислотно-щелочной баланс готового продукта и соответствует ли полученный показатель нормативным требованиям стандарта, была определена кислотность всех исследуемых образцов лапши. Результаты проведенных измерений, демонстрирующие влияние пюре папоротника на кислотность опытных образцов, представлены на рис. 7.

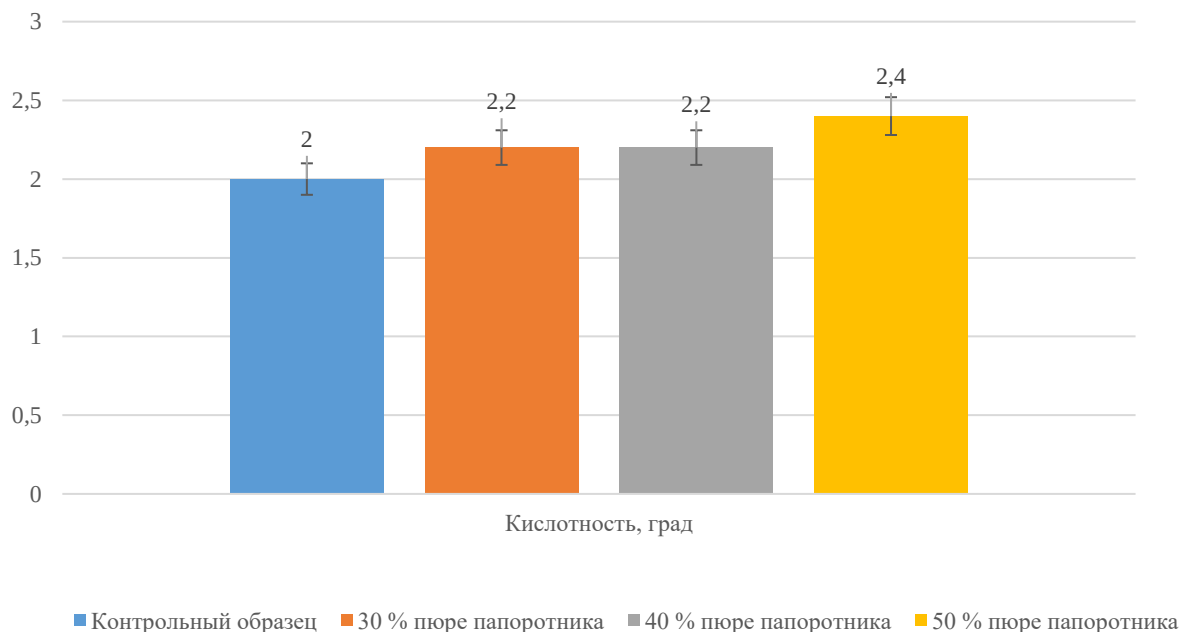


Рис. 7. Влияние пюре папоротника на кислотность лапши. Составлено авторами

Fig. 7. Effect of fern puree on the acidity of noodles. Compiled by the authors

Из представленного графика следует, что кислотность образцов лапши возрастает пропорционально количеству вносимого пюре папоротника. Кислотность образцов лапши с добавлением 30 и 40 % пюре папоротника составляет 2,2 град. Повышение доли пюре до 50 % приводит к незначительному увеличению кислотности продукта и составляет 2,4 град. Добавление пюре папоротника приводит к умеренному повышению кислотности разработанных образцов. Вероятно, данное явление может быть обусловлено несколькими причинами. Во-первых, наличием в составе папоротника различных органических кислот, во-вторых, присутствием остаточных количеств хлорида натрия, в-третьих, взаимодействием кислотных соединений, содержащихся в папоротнике, с иными компонентами теста, в частности, с мукой, что может приводить к повышению кислотности готового продукта. Однако даже при максимальной дозировке добавки (50 % замены яйцепродуктов) уровень кислотности остается в пределах нормативных значений, что подтверждает соответствие разработанных образцов требованиям стандарта по данному показателю качества.

Количество сухого вещества, перешедшего в варочную среду в процессе термической обработки, служит важным показателем, позволяющим оценить сохранность нутриентного состава лапши. Данный параметр отражает, какая доля питательных и биологически активных компонентов остается в готовом изделии, а какая – переходит в воду при варке.

В рамках проведенного исследования было изучено влияние добавления пюре папоротника на величину потерь сухого вещества при варке лапши. Эксперимент позволил выяснить, как варьирование доли добавки сказывается на сохранности нутриентов в процессе тепловой обработки. Результаты исследования, демонстрирующие зависимость количества перешедшего в варочную среду сухого вещества от дозировки пюре папоротника, представлены на рис. 8.

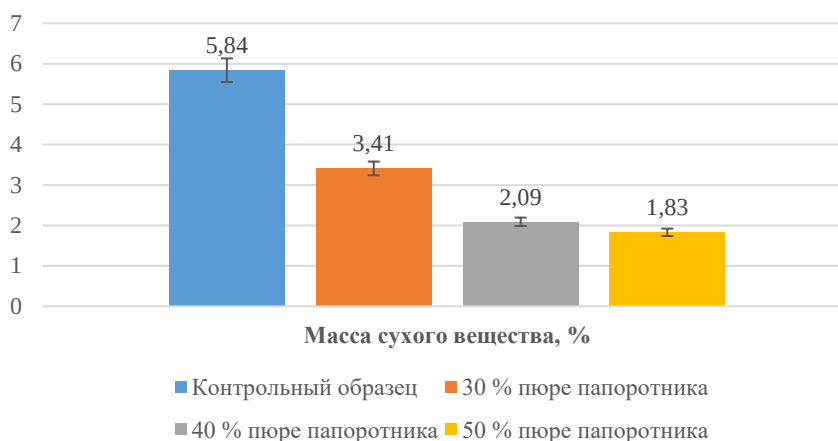


Рис. 8. Влияние пюре папоротника на количество сухих веществ, перешедших в варочную среду.
Составлено авторами

Fig. 8. The effect of fern puree on the amount of dry matter transferred to the cooking medium.
Compiled by the authors

Из представленного на рис. 8 графика видно, что внесение пюре папоротника в различных дозировках способствует снижению количества сухого вещества, переходящего в варочную среду в процессе варки лапши. В образцах с содержанием пюре папоротника на уровне 30, 40 и 50 % наблюдается снижение количества сухих веществ, перешедших в варочную среду, по сравнению с контрольным образцом в 1,7, 2,8 и 3,2 раза соответственно. Это означает, что добавление данной компоненты повышает сохранность нутриентного состава готового изделия. Наблюдаемый эффект может быть обусловлен физико-химическими свойствами пюре папоротника, которые, вероятно, влияют на структуру теста, улучшая его способность удерживать сухие вещества при термической обработке. В результате даже при максимальной дозировке добавки 50 % потери сухого вещества остаются в пределах норматива, что подтверждает технологическую целесообразность использования пюре папоротника в рецептуре домашней лапши.

Коэффициент увеличения массы лапши, который характеризует количество поглощенной во время варки воды, является важным технологическим показателем качества макаронных изделий и гарантирует достаточную гидратацию продукта и сохранение его потребительских свойств после приготовления. Результаты измерений представлены на рис. 9.

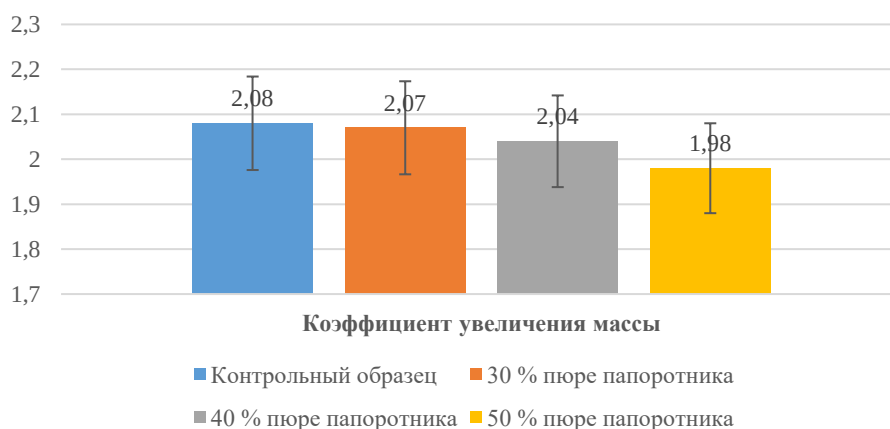


Рис. 9. Влияние пюре папоротника на количество поглощенной во время варки воды.
Составлено авторами

Fig. 9. The effect of fern puree on the amount of water absorbed during cooking.
Compiled by the authors

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что замена яйцепродуктов на пюре папоротника в дозировке до 40 % не приводит к снижению коэффициента увеличения массы лапши, показателя, характеризующего водопоглотительную способность изделия в процессе варки. При таких пропорциях внесения добавки коэффициент остается в пределах нормативно установленного значения, что подтверждает сохранение технологических и потребительских свойств продукта.

На основании проведенных исследований, включающих комплексную оценку органолептических характеристик, кислотности, сохранности сухих веществ при варке и коэффициента увеличения массы, была разработана рецептура домашней лапши с добавлением пюре папоротника. В ходе работы определена оптимальная дозировка внесения пюре – 40 % замены яйцепродуктов, обеспечивающая сочетание повышенной пищевой ценности и соответствия нормативным требованиям к качеству макаронных изделий. Рецепт лапши домашней с добавлением пюре папоротника представлена в табл. 3.

Таблица 3

Рецептура лапши домашней с добавлением пюре папоротника

Table 3

Homemade noodle recipe with fern puree

Наименование сырья	Брутто, г	Нетто, г
Мука	875	875
Мука на подпыл	60	60
Меланж	150	150
Пюре из папоротника	100	100
Вода	275	275
Соль	10	10
Выход подсушенной лапши	1000	1000

Внедрение данной рецептуры дает возможность выпускать продукт, который, с одной стороны, сохраняет традиционные потребительские свойства домашней лапши – привычный вкус, аромат, цвет, текстуру и внешний вид, а с другой – обогащает рацион необходимыми для растущего организма школьника нутриентами витаминами, микроэлементами и биологически активными соединениями, содержащимися в пюре папоротника. Кроме того, использование новой рецептуры способствует расширению ассортимента макаронных изделий за счет появления продукта с улучшенными функциональными свойствами и деликатной растительной ноткой во вкусе. Таким образом, разработанная лапша сочетает в себе как соответствие устоявшимся потребительским ожиданиям, так и дополнительную пищевую ценность, что особенно актуально для организации сбалансированного школьного питания.

Заключение

Таким образом, высокий спрос на макаронные изделия среди обучающихся (52 % опрошенных) демонстрирует их значительный потенциал как базовой матрицы для внедрения функциональных ингредиентов в популярный продукт, что позволяет не снижать его потребительскую привлекательность и повышать пищевую ценность без изменения привычных вкусовых предпочтений.

Экспериментально обоснован оптимальный уровень замены яичной смеси на пюре папоротника – до 40 %. Такое соотношение обеспечивает использование биопотенциала сырья Приморского края, а также сохранение органолептических (вкуса, цвета, текстуры) и технологических свойств продукта на уровне традиционных изделий.

Разработанная технология лапши домашней с добавлением пюре папоротника формирует модель производства обогащенных макаронных изделий, которая способствует развитию локальной пищевой промышленности, повышению пищевой ценности школьного питания и рациональному использованию природных биоресурсов Дальневосточного региона.

Список источников

1. Куцепалова Т. Д. Тарасова Е. Ю. Макароны изделия – продукт питания для всех // Альманах мировой науки. 2016. № 4–1(7). С. 32–33.
2. Иванова Г. В. Методы комплексного использования растительных ресурсов Красноярского края для питания детей школьного возраста: дис. ... доктора сельскохозяйственных наук: 03.00.16 / Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск., 2009. 474 с.
3. Харитонов А. М. Ресурсы и структура заготовок дикорастущих ягод и плодов в Приморском крае (1980–1990 гг.) // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 1999. №. 1. С. 58–63.
4. Костырина Т. В., Приходько О. Ю. Социальная значимость пищевых лесных ресурсов (на примере опроса сельских жителей в Приморском крае // Лесохозяйственная информация. 2021. № 2. С. 124–13. DOI 10.24419 / LNI.2304-3083.2021.2.11.
5. Высочина, Г. И. Сравнительная биохимическая оценка молодых папоротников *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn и *Matteuccia struthiopteris* (L.) Tod. / Г. И. Высочина, Т. А. Кукушкина, Э. А. Ершова // Химия растительного сырья. 2013. № 1. С. 197–203.
6. Мельникова Е. В. Получение пищевого порошка из папоротника орляка // Инновационные тенденции развития российской науки : материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых, Красноярск, 24–26 марта 2014 года. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2015. С. 266–268.
7. Гуз, Е. А. Изучение возможности использования папоротника орляка обыкновенного (*Pteridium aquilinum*) в технологии бисквита для школьного питания / Е. А. Гуз, Н. Ю. Чеснокова, А. А. Кузнецова, Н. М. Портнов // Ползуновский вестник. 2024. №. 2. С. 53–65. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2024.02.007.
8. Типсина Н. Н., Мельникова Е. В. Использование порошка папоротника в производстве песочного печенья и бисквитного полуфабриката // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2014. №. 12. С. 219–224.
9. Плотникова Т. М. Товароведно-технологические свойства свежего и соленого папоротника орляка. Новосибирск : Новосибирский ин-т советской кооперативной торговли, 1983.
10. Rechkina, E. A. Biological value of fern protein // E. A. Rechkina, L. A. Mayurnikova, N. Yu. Teplyuk // Food Processing: Techniques and Technology. 2022. Vol. 52(2). P. 417–425. DOI: <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2374>.
11. Saimaiti M., Genclepe H. Thermal and molecular characteristics of novel water-soluble polysaccharide from the *Pteridium aquilinum* and *Dryopteris filix-mas* // Food Chemistry Advances. 2023. Vol. 3. A. 100401. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100401>.
12. Постановление Правительства РФ от 20.06.2020 № 900 «О внесении изменений в государственную программу Российской Федерации «Развитие образования» // Собрание законодательства РФ. 2020. № 26. Ст. 4124.
13. Постановление Губернатора Приморского края от 06.12.2018 № 72-пг «О порядке обеспечения обучающихся в государственных (краевых) и муниципальных образовательных организациях бесплатным питанием» (в ред. от 27.02.2025) // Официальный интернет-портал правовой информации. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/2500201812060001>.
14. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы СанПиН 2.3/2.4.3590-20 «Санитарно-эпидемиологические требования к организации общественного питания населения»:

утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 27.10.2020 № 32 // Официальный интернет-портал правовой информации (www.pravo.gov.ru), 2020, 12 ноября, № 0001202011120001.

15. МР 2.4.0179-20. 2.4. Гигиена детей и подростков. Рекомендации по организации питания обучающихся общеобразовательных организаций. Методические рекомендации: утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 18.05.2020. М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2020. 25 с.

16. Смирнов С. О., Фазуллина О. Ф. Использование нетрадиционного сырья в производстве макаронных изделий повышенной пищевой ценности // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49, № 3. С. 454–469. DOI: 10.21603/2074-9414-2019-3-454-469.

17. Hao, J. W. Solid-phase extraction followed by direct TOF-MS-MS and HPLC analysis of ptaquiloside in *Pteridium aquilinum* from different places of China / Jing-Wen Hao, Xiao-Quan Liu, Nai-Dong Chen, An-ling Zhu // Journal of Food Composition and Analysis. 2021. Vol. 98. P. 103845. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103845>.

18. Ribeiro, D. S. F. Ptaquiloside and pteroin B levels in mature green fronds and sprouts of *Pteridium arachnoideum* / D. S. F. Ribeiro, K. M. Keller, B. Soto-Blanco // Toxins. 2020. Vol. 12, №. 5. P. 288. DOI: 10.3390/toxins12050288.

19. Черемных, Д. А. Летучие соединения свежего *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, произрастающего в Красноярском крае / Д. А. Черемных, Г. А. Губаненко, А. А. Анискина, Е. А. Речкина, О. В. Киселева // Ползуновский вестник. 2022. №. 2. С. 57–64. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2022.02.008.

Сведения об авторах

Е. А. Гуз – специалист Министерства образования Приморского края, аспирант.

Н. Ю. Чеснокова – доктор технических наук, доцент, профессор Базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии, SPIN-код: 2014-4031, Author ID: 833120.

А. А. Кузнецова – кандидат технических наук, доцент, доцент Базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии, SPIN-код: 6625-3799, Author ID: 641061.

Information about the authors

E. A. Guz – Specialist, Ministry of Education, Primorsky Krai, graduate student.

N. Yu. Chesnokova – Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Food and Cell Engineering, SPIN-code: 2014-4031, Author ID: 833120.

A. A. Kuznetsova – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food and Cell Engineering, SPIN-code: 6625-3799, Author ID: 641061.

Статья поступила в редакцию 26.05.2026; одобрена после рецензирования 02.06.2026; принята к публикации 02.06.2026.

The article was submitted 26.05.2026; approved after reviewing 02.06.2026; accepted for publication 02.06.2026.

© Гуз Е. А., Чеснокова Н. Ю., Кузнецова А. А., 2026.

«Разработка технологии лапши домашней с добавлением папоротника орляка (*Pteridium aquilinum*) для использования в системе школьного питания» [Гуз Е. А., Чеснокова Н. Ю., Кузнецова А. А.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Кинетика накопления сухих веществ и минеральный профиль отваров *Saccharina japonica*

Светлана Валерьевна Журавлева¹, Татьяна Марьяновна Бойцова²,
Елена Геннадьевна Новицкая³, Анна Валерьевна Панкина⁴

^{1,4} Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, Владивосток, Россия

² Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток Россия

³ Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹ zhursvet@mail.ru, ORCID: 0009-0009-2183-0429

² boitsova_tm@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1717-0626

³ novitckaia.eg@dvfu.ru, ORCID: 0009-0000-8873-4583

⁴ pankina@msun.ru, ORCID: 0009-0000-6757-7443

Аннотация. Представлены результаты комплексного исследования отваров ламинарии японской (*Saccharina japonica*). Авторами изучена динамика накопления сухих веществ, изменение пенообразующей способности, устойчивости пены и изменения минерального профиля варочной среды в интервале от 15 до 90 мин.

С использованием математического моделирования определены константы скоростей экстракции и установлен теоретический предел насыщения системы нутриентами.

Выявлена линейная зависимость между концентрацией сухих веществ и пенообразующей способностью. Исследование динамики экстракции минеральных веществ показало, что катионы натрия и калия максимально переходят в раствор к шестидесятой минуте, в то время как извлечение катионов кальция и железа требует пролонгированной варки из-за их связи с органическим матриксом.

На основе полученных данных обоснованы режимы, позволяющие получать отвары для различных целей. Показано, что отвары от кратковременной обработки (до 45 мин) могут быть использованы для создания электролитных основ. Длительная варка сырья (90 мин) способствует обогащению отваров катионами двухвалентными металлами. Такие отвары могут быть использованы для производства функциональных концентратов. Таким образом, отвары *Saccharina japonica* могут рассматриваться как перспективное вторичное сырье для пищевой индустрии, биотехнологии, сельского хозяйства и др.

Ключевые слова: *Saccharina japonica*, водные отвары, динамика экстракции, математическое моделирование, концентрация сухих веществ, пенообразующая способность, минеральный профиль, вторичное сырье

Для цитирования: Журавлева С. В., Бойцова Т. М., Новицкая Е. Г., Панкина А. В. Кинетика накопления сухих веществ и минеральный профиль отваров *Saccharina japonica* // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 53–65.

FOOD SYSTEMS

Original article

**Kinetics of dry matter accumulation and mineral profile
of *Saccharina japonica* decoctions****Svetlana V. Zhuravleva¹, Tatyana M. Boytsova², Elena G. Novitskaya³,
Anna V. Pankina⁴**^{1,4} Admiral G. I. Nevelskoy Maritime State University, Vladivostok, Russia² Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia³ Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia¹ zhursvet@mail.ru, ORCID: 0009-0009-2183-0429² boitsova_tm@mail.ru, ORCID: 0000-0002-1717-0626³ novitckaia.eg@dvfu.ru, ORCID: 0009-0000-8873-4583⁴ pankina@msun.ru, ORCID: 0009-0000-6757-7443

Abstract. The article presents the results of a comprehensive study on Japanese kelp (*Saccharina japonica*) water extracts. The authors investigated the dynamics of dry matter accumulation, changes in foaming capacity and foam stability, as well as shifts in the mineral profile of the boiling medium within a time interval of 15 to 90 minutes.

Using mathematical modeling, extraction rate constants were determined and a theoretical limit for nutrient saturation of the system was established. A linear dependence between the concentration of dry matter and foaming capacity was identified. The study of mineral extraction dynamics showed that sodium and potassium cations reach maximum concentration in the solution by the 60th minute, while the extraction of calcium and iron cations requires prolonged boiling due to their binding with the organic matrix.

Based on the obtained data, processing regimes for various applications were justified. It was demonstrated that extracts from short-term processing (up to 45 min) can be used as electrolyte bases. Prolonged boiling of the raw material (90 min) promotes the enrichment of extracts with divalent metal cations. Such extracts can be used for the production of functional concentrates. Thus, *Saccharina japonica* extracts can be considered a promising secondary raw material for the food industry, biotechnology, agriculture, and other fields.

Keywords: *Saccharina japonica*, water extracts, extraction dynamics, mathematical modeling, dry matter concentration, foaming capacity, mineral profile, secondary raw materials

For citation: Zhuravleva S. V., Boitsova T. M., Novitskaya E. G., Pankina A. V. Kinetics of dry matter accumulation and mineral profile of *Saccharina japonica* decoctions. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2): 53–65. (in Russ.).

Введение

Ламинариевые водоросли (*Laminariaceae*) на протяжении многих столетий составляют неотъемлемую часть рациона питания человека, особенно в странах Азиатско-Тихоокеанского региона. Исторический опыт их употребления в пищу подтверждает не только высокие вкусовые качества, но и выраженную биологическую эффективность.

Водоросли семейства *Laminariaceae* обладают уникальным химическим составом. Они содержат высокомолекулярные полисахариды, органический йод, альгинаты, а также комплекс макро- и микроэлементов, что делает их незаменимым сырьем для лечебно-профилактического и диетического питания [1–5].

Для доведения ламинариевых водорослей до состояния кулинарной готовности или промышленного полуфабриката в современных пищевых технологиях используют этап гидротермической обработки (варки) [6–8]. В результате данного процесса происходит направленная деструкция клеточного матрикса водорослей, сопровождающаяся интенсивной миграцией ценных водорастворимых соединений в варочную среду (отвар).

Очевидно, что получаемый отвар концентрирует в себе некоторую часть нутриентного потенциала исходного сырья.

Учитывая принципы рационального природопользования, отвары ламинариевых водорослей следует рассматривать не как побочный продукт переработки, а как перспективное вторичное сырье, которое может быть использовано в качестве функциональной основы при производстве новых видов пищевой продукции, либо в качестве основы для многокомпонентных биостимулирующих композиций для роста и развития растений.

Цель исследования заключалась в исследовании динамики и установлении закономерностей экстракции макро- и микроэлементов из слоевищ ламинарии японской (*Saccharina japonica*) в водную среду в процессе варки и обоснование использования полученных отваров.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования использовали морскую капусту шинкованную мороженую по ГОСТ 31583-2012, приобретенную в торговой сети г. Владивостока.

Предварительная подготовка сырья включала дефростацию и промывку в проточной воде для удаления посторонних примесей.

Подготовленное сырье помещали в варочный аппарат при гидромодуле 1 : 2, подвергали обработке при температуре 100 °С и периодическом перемешивании. Выбранный режим гидротермической обработки является типовым для производства кулинарной продукции из ламинариевых водорослей. Общая продолжительность термической обработки составила 90 мин.

Для установления закономерностей экстракции минеральных компонентов осуществляли отбор проб отвара с интервалом в 15 мин (в точках: 15, 30, 45, 60, 75 и 90 мин). Отобранные аликвоты отвара фильтровали через бумажный фильтр «белая лента», охлаждали до температуры 20±2 °С для последующего определения концентрации макро- и микроэлементов, которое проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu AA-6800 (Япония). В зависимости от определяемого элемента и ожидаемого диапазона концентраций использовали два варианта атомизации.

Для определения основных макроэлементов применялась пламенная атомизация с использованием одноцелевой горелки и горючей смеси ацетилен–воздух.

Для обеспечения высокой чувствительности при определении микроэлементов в низких концентрациях применяли электротермическую (беспламенную) атомизацию с использованием графитовой кюветы.

Для устранения спектральных помех и учета неселективного поглощения выполняли коррекцию фона с помощью дейтериевого корректора. Калибровку прибора осуществляли по государственными стандартным образцам (ГСО) растворов ионов металлов (ГСО РМ).

Исследования минерального состава выполнены на базе лаборатории прикладной экологии и токсикологии ФГБРУ «ТИНРО- Центр».

Содержание растворимых сухих веществ (СВ) в отобранных пробах отвара определяли рефрактометрическим методом.

Оценку пенообразующих свойств отваров ламинариевых водорослей проводили по стандартной методике при комнатной температуре (20±2 °С). Для определения пенообразующей способности (Пс) пробы отваров объемом 50 мл подвергали механическому диспергированию в гомогенизаторе в течение 2 мин при скорости вращения мешалки 52,5 рад/с (что соответствует ~500 об/мин).

Пенообразующую способность (Пс, %) рассчитывали как отношение объема (высоты) образовавшейся пены к исходному объему (высоте) раствора:

$$P_c = \frac{h_1}{h_2} \cdot 100 \%, \quad (1)$$

где h_1 – высота пены, мм;

h_2 – высота столба жидкости, мм.

Устойчивость пены (U_p) определяли методом отстаивания в мерных цилиндрах, фиксируя долю не разрушившейся пены через определенные промежутки времени ($\Delta t = 5$ мин):

$$U_p = \frac{h_3}{h_1} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

где h_3 – высота пены после отстаивания, мм [9].

На основании данных проведенных экспериментов была рассчитана средняя скорость накопления СВ в отварах ($V_{св}$):

$$V_{св} = \frac{\Delta C}{\Delta t}, \quad (3)$$

где ΔC – изменение концентрации сухих веществ, %;

Δt – интервал времени, мин ($\Delta t = 15$ мин).

Расчет средней скорости миграции катионов металлов в отвар проводили по аналогичной методике при $\Delta t = 30$ мин.

Среднюю скорость прироста пенообразующей способности ($V_{пс}$) вычисляли как отношение изменения начального и конечного показателя P_c к изменению концентрации сухих веществ:

$$V_{пс} = \frac{P_{кон} - P_{нач}}{C_n - C_1}, \quad (4)$$

где $V_{пс}$ – скорость прироста пенообразующей способности, %/%;

$P_{кон}$ – конечное значение пенообразующей способности (при СВ 2,8 %), %;

$P_{нач}$ – начальное значение пенообразующей способности (при СВ 0,7 %), %;

C_n – конечная концентрация сухих веществ в отваре, %;

C_1 – начальная концентрация сухих веществ в отваре, %;

Для прогнозирования предельной концентрации сухих веществ в отваре использовали уравнение кинетики Пелега:

$$C(t) = C_0 + \frac{t}{k_1 + k_2 \cdot t}, \quad (5)$$

где $C(t)$ – текущая концентрация сухих веществ в отваре в момент времени t , %;

C_0 – начальная концентрация сухих веществ в системе (при $t=0$, $C_0=0$), %;

t – продолжительность процесса экстракции (варки), мин;

k_1 – константа скорости Пелега, мин/% (характеризует начальную скорость экстракции в начале процесса);

k_2 – константа емкости Пелега, %⁻¹ (связана с максимально достижимой концентрацией сухих веществ при $t \rightarrow \infty$).

Расчет констант k_1 и k_2 проводился путем линеаризации уравнения в координатах $t/(C(t) - C_0)$ от t .

Для визуализации комплексной трансформации физико-химического профиля отвара в процессе варки использован метод многофакторного анализа на лепестковых диаграммах Radar Charts.

Ввиду различной размерности исследуемых показателей (мг/л для катионов металлов, % для P_c), значения были приведены к безразмерному виду (от 0 до 1 или 100%) по формуле

$$X_{norm} = \frac{X_i}{X_{max}}, \quad (6)$$

где X_i – значение показателя в конкретный момент времени;

X_{max} – максимальное зафиксированное значение данного показателя за весь период исследования (90 мин).

Статистическую обработку и определение коэффициентов аппроксимации (R^2) выполняли с помощью программного обеспечения Microsoft Excel 2019.

Результаты и их обсуждение

В результате проведённых исследований установлено, что за период варки (90 мин) концентрация СВ увеличилась в 4 раза (с 0,7 до 2,8 %). Полученные данные позволили установить, что экстракция протекает неравномерно во времени (рис. 1). На графике имеются «плато», временные промежутки, когда экстракции СВ не наблюдается (на 15–30 и 60–75 мин). Данное явление может быть обусловлено стадийным выходом различных фракций растворимых веществ из матрикса сырья [10].

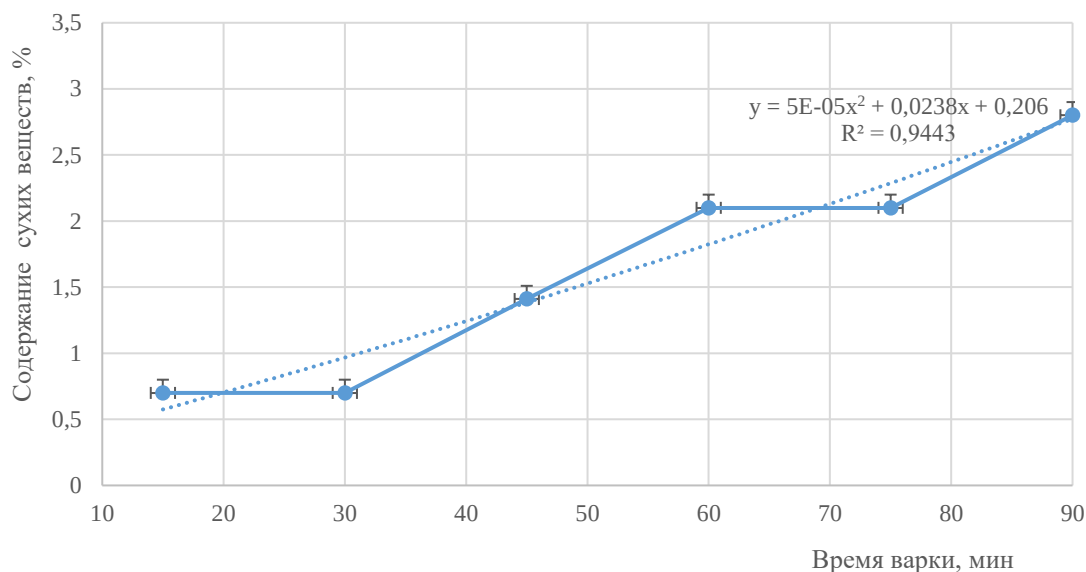


Рис. 1. Изменение содержания в отварах СВ в зависимости от времени варки.

Составлено авторами

Fig. 1. Changes in the dry matter content in decoctions depending on the cooking time.

Compiled by the authors

В ходе эксперимента была изучена зависимость пенообразующей способности (P_c) и устойчивости пены (Y_p) от концентрации сухих веществ (СВ) в отварах (табл. 1).

Таблица 1

Показатели пенообразующей способности отваров

Table 1

Foaming capacity of decoctions

Содержание СВ, %	Пенообразующая способность P_c , %	Устойчивость пены, Y_p , %
0,7	134±4,2	27,7±1,1
1,0	191,9±5,8	38,5±1,5
1,5	287,8±7,4	59,3±2,2
2,1	310,0±8,1	82,6±2,8
2,4	352,4±9,5	79,1±2,5
2,8	395,8±10,2	92,0±3,1

Анализ полученных данных позволил установить линейную зависимость пенообразующей способности от концентрации сухих веществ. Математическая модель процесса описывается уравнением регрессии

$$П_c = 125,5 \cdot СВ + 60,1.$$

Из табл. 1 видно, что увеличение концентрации сухих веществ с 0,7 до 2,8 % приводит к трехкратному росту пенообразующей способности (с 134,3 до 395,8 %). Высокая пенообразующая способность отваров *Saccharina japonica*, по всей вероятности, обусловлена комплексным воздействием водорастворимых полисахаридов. Наряду с альгинатами, значительный вклад в снижение поверхностного натяжения, вероятно, вносят ламинарин и маннит, экстрагируемые при термической обработке [11]. Их высокая растворимость и подвижность молекул обеспечивают интенсивное формирование пенной фазы, в то время как устойчивость системы стабилизируется за счет более вязких компонентов – альгинатов.

Наблюдаемый рост устойчивости пены с 27,7 до 92,0 % косвенно свидетельствует о значительном увеличении динамической вязкости отвара, обусловленном переходом альгинатов в растворенное состояние.

Для выявления характера влияния концентрации сухих веществ на пенообразующие свойства отваров *Saccharina japonica* была построена комбинированная диаграмма рассеяния с аппроксимирующими линиями (рис. 2).

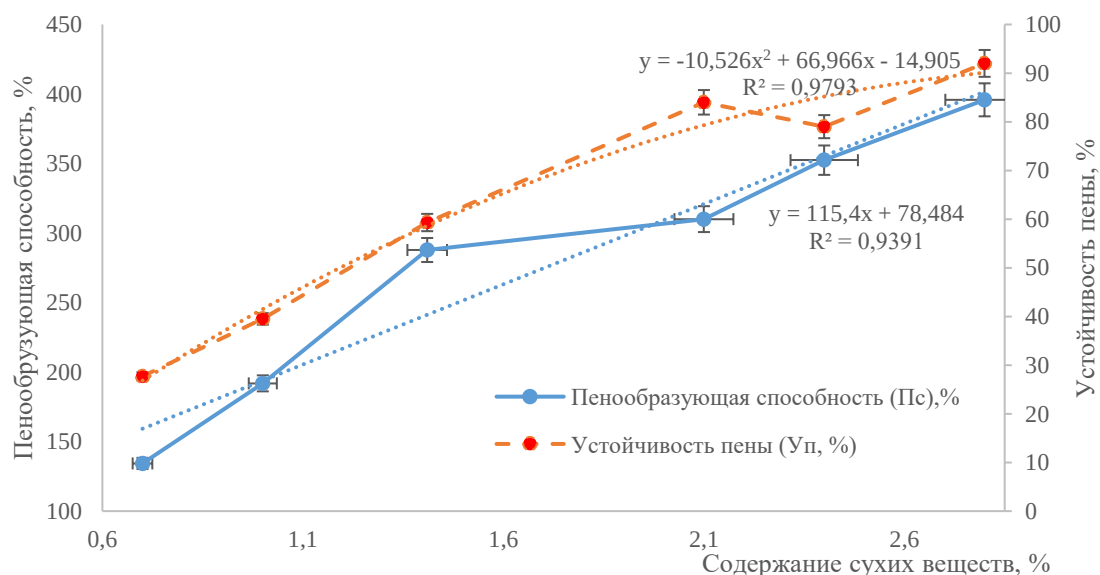


Рис. 2. Влияния концентрации сухих веществ на пенообразующие свойства отваров *Saccharina japonica*. Составлено авторами

Fig. 2. The influence of dry matter concentration on the foaming properties of *Saccharina japonica* decoctions. Compiled by the authors

Из рис. 2 видно, что оба показателя растут параллельно. Это свидетельствует о том, что при увеличении концентрации сухих веществ происходит не только увеличение объема образующейся пены, но и качественное укрепление её структуры.

Согласно представленной диаграмме при содержании сухих веществ ниже 1,5 % отвары обладают нестабильными характеристиками несмотря на выраженное пенообразование (Пс), так как устойчивость пены (Уп) остается низкой (менее 60 %).

Представленный график также демонстрирует, что в диапазоне концентраций 2,1–2,4 % наблюдается синергетический эффект между объемом образующейся пены и её стабильностью. С точки зрения практического применения именно этот интервал является наиболее экономически целесообразным.

Результаты математической обработки экспериментальных данных, выполненной по формулам (3) и (4), систематизированы в табл. 2 и 3.

Из табл. 2 видно, что в интервалах 15–30 и 60–75 мин скорость экстракции равна нулю. Это говорит о периодах кинетического равновесия, когда растворение временно прекращается. Интервалы 30–60 и 75–90 мин характеризуются максимальной скоростью накопления СВ 0,047 %/мин.

Для оценки полноты извлечения сухих веществ была применена кинетическая модель Пелега. В результате математической обработки экспериментальных данных установлена константа емкости экстракции $k_2 = 0,385$, что позволило рассчитать теоретический предел накопления сухих веществ в системе – 3,30 %.

Сравнение расчетного максимума с экспериментальным значением на 90-й минуте (2,82 %) показывает, что в данных условиях достигнута 85,4 % полноты экстракции.

Учитывая, что после 75 мин скорость роста концентрации СВ снижается, дальнейшая пролонгация процесса варки является нецелесообразной, так как затраты энергии на извлечение оставшихся 14,6 % веществ превысят их рыночную и биологическую ценность.

Таблица 2

Изменение скорости экстракции сухих веществ в отвар во времени

Table 2

Changes in the rate of extraction of dry substances into the broth over time

Время варки, мин	Содержание СВ, %	Скорости накопления СВ ($V_{св}$), %/мин
15	0,7±0,04	—
30	0,7±0,04	0,000
45	1,4±0,07	0,047
60	2,1±0,11	0,047
75	2,1±0,11	0,000
90	2,8±0,14	0,047
Среднее	—	0,028

Высокая начальная скорость нарастания пенообразующей способности (табл. 3) свидетельствует о преобладании в начале процесса низкомолекулярных соединений (ламинарин, маннит), которые быстро снижают поверхностное натяжение.

Замедление скорости при более высоких концентрациях (после 2,1 %) свидетельствует о переходе к извлечению высокомолекулярных фракций (тяжелых альгинатов), которые уже не столько создают новую пену, сколько стабилизируют старую [12–14].

Таблица 3

Динамика изменения пенообразующих характеристик отваров ламинарии

Table 3

Dynamics of changes in the foaming properties of kelp decoctions

Интервал содержания СВ, %	Скорости нарастания P_c ($V_{пс}$), %/%	Скорость нарастания $Y_{п}$ (V_y), %/%
0,7–1,0	192,0	39,3
1,0–1,5	191,8	39,8
1,5–2,1	37,0	38,8
2,1–2,4	141,3	-11,7
2,4–2,8	108,5	32,3
Среднее значение	124,5	30,6

Минеральные вещества в клетках растений и сырья находятся в двух формах: свободные (ионные) и связанные с органическими соединениями.

Легкорастворимые соли (калий, натрий, хлориды) начинают выходить в отвар с первых минут варки (интервал 15–30 мин). Так как минеральные соли – это низкомолекулярные соединения, их содержание практически не влияет на вязкость и содержание сухих веществ [15–17].

Данные кинетики минерального обмена (рис. 3) указывают на то, что процессы экстракции катионов протекают неодинаково. Установлено, что содержание катионов Na^+ и K^+ достигает максимума концентрации уже к 60-й минуте варки. Дальнейшая варка до 90 мин приводит к снижению их содержания (на 5,8 и 2,8 % соответственно), что, вероятно, обусловлено процессами сорбции на высвобождающихся высокомолекулярных компонентах сырья.

Экстракция катионов Ca^{2+} и $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ характеризуется увеличением их содержания к 90 мин на 11,9 и 34,2 % соответственно, что свидетельствует о прочной связи данных элементов с органическими молекулами, разрушение которых требует длительной термообработки.

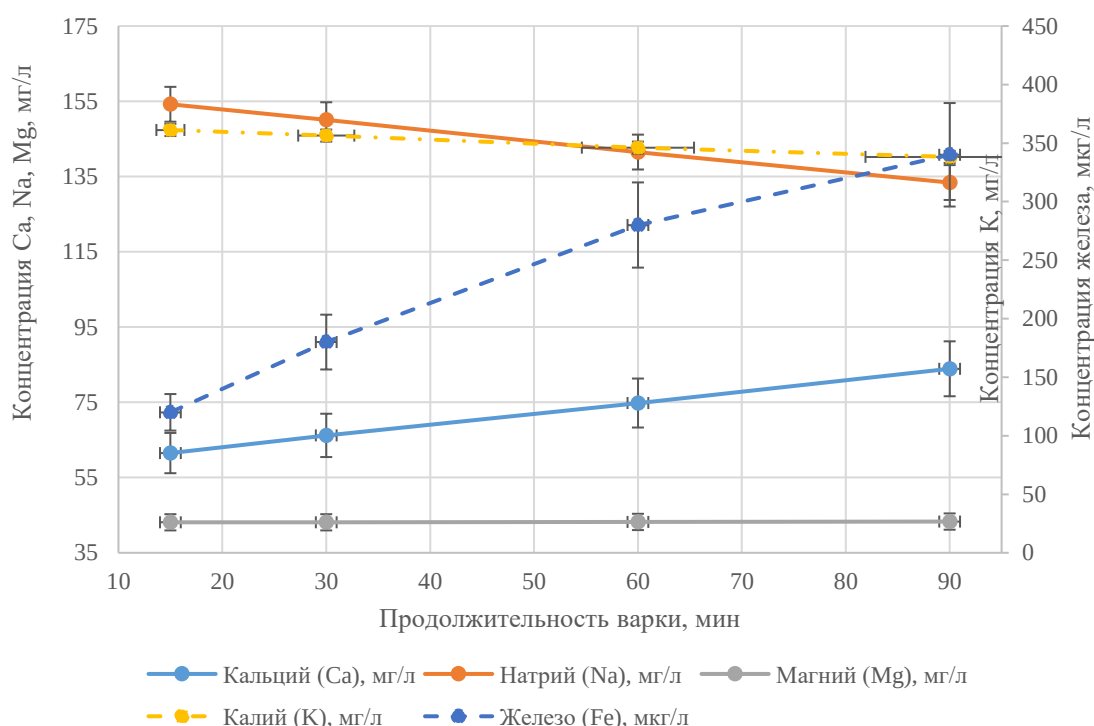


Рис. 3. Кривые экстракции катионов металлов в отвар. Составлено авторами
Fig. 3. Extraction curves of metal cations into the decoction. Compiled by the authors

Расчет скоростей экстракции в отвар минеральных веществ из сырья показал, что для катионов Mg^{2+} она составляет 0,005, для Ca^{2+} 0,297, для Na^+ минус 0,273, для K^+ минус 0,319, для железа 0,003 (мг/л в минуту). Установлено, что скорость изменения концентрации идентична на всех этапах, при этом катионы магния и кальция переходят в раствор, а катионы калия и натрия показывают отрицательную динамику.

Анализ удельного содержания минералов в 1 г СВ (табл. 4) выявил важную технологическую закономерность. В начальный период (15–30 мин) наблюдается положительный прирост доли катионов Ca^{2+} (+0,63 мг/г СВ) и $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ (+0,007 мг/г СВ). Однако в интервале 30–60 мин зафиксирован резкий отрицательный прирост удельной минерализации (падение доли K^+ на 34,32 мг/г СВ).

Данные табл. 5 показывают, что наблюдается статистически значимое снижение удельного содержания всех макроэлементов в составе сухого вещества по мере увеличения времени

варки. Наиболее резкое падение характерно для K^+ (в 4,3 раза) и Na^+ (в 4,6 раза) в интервале от 15 до 90 мин.

Содержание катионов Fe^{2+}/Fe^{3+} достигает своего максимума на 30-й минуте ($0,024 \pm 0,003$ мг/г), после чего снижается вдвое и стабилизируется на уровне $0,012 \pm 0,001$ мг/г.

Таблица 4

Содержание минеральных веществ в сухом веществе (мг на 1 г СВ)

Table 4

Mineral content in dry matter (mg per 1 g dry matter)

Время варки, мин	Содержание минеральных веществ в СВ (мг на 1 г СВ)			
	кальций	калий	натрий	железо
15	$8,78 \pm 0,61$	$51,48 \pm 3,6$	$21,94 \pm 1,53$	$0,017 \pm 0,002$
30	$9,41 \pm 0,66$	$50,8 \pm 3,55$	$21,36 \pm 1,49$	$0,024 \pm 0,003$
60	$3,56 \pm 0,25$	$16,48 \pm 1,15$	$6,73 \pm 0,47$	$0,012 \pm 0,001$
90	$2,99 \pm 0,21$	$12,02 \pm 0,84$	$4,75 \pm 0,33$	$0,012 \pm 0,001$

Анализ динамических коэффициентов (табл. 5) показал, что в интервале 30–60 мин резкое снижение содержания макроэлементов (в частности, K^+ до минус $34,32$ мг/г СВ) служит объективным индикатором смены доминирующего механизма экстракции: от преимущественного выхода мобильных ионов к интенсивному накоплению органических структурных компонентов.

Таблица 5

Динамика изменения содержания СВ в 1 г сухого материала

Table 5

Dynamics of changes in the concentration of dry substances in 1 g of dry material

Интервал времени, мин	ΔCa , мг/г СВ	ΔK , мг/г СВ	ΔNa , мг/г СВ	ΔFe , мг/г СВ
15–30	$+0,63 \pm 0,04$	$+0,68 \pm 0,05$	$+0,58 \pm 0,05$	$+0,007 \pm 0,001$
30–60	$-5,85 \pm 0,41$	$-34,32 \pm 2,40$	$-14,63 \pm 1,02$	$-0,012 \pm 0,001$
60–90	$-0,57 \pm 0,04$	$-4,46 \pm 0,31$	$-1,98 \pm 0,14$	$-0,00 \pm 0,001$

Во временном промежутке 60–90 мин наблюдается замедление скорости удельной минерализации отваров в 5–10 раз по сравнению с предыдущим этапом. При этом для катионов железа динамика становится нулевой, что может свидетельствовать о синхронности между приростом сухих веществ и экстракцией этого элемента. В отличие от катионов щелочных металлов Na^+ и K^+ для катионов Ca^{2+} и Fe^{2+}/Fe^{3+} явлений сорбции не зафиксировано.

Процесс перехода двухвалентных катионов металлов в отвар адекватно описывается уравнением линейной регрессии первого порядка:

- для кальция:

$$Ca(t) = 0,297 \cdot t + 57,0,$$

где 0,297 – коэффициент скорости экстракции (α) (прирост мг/1мин варки));

57,0 – свободный член (b) (расчетная начальная концентрация в момент $t = 0$)

$R^2 = 0,998$ – коэффициент детерминации (точность модели 99,8 %);

- для железа:

$$Fe(t) = 0,003 \cdot t + 0,075,$$

где 0,003 – коэффициент скорости экстракции (α);

0,075 – свободный член (b);

$R^2 = 0,995$ – коэффициент детерминации (точность модели 99,85 %).

Для катионов Ca^{2+} $\alpha = 0,297$, что свидетельствует об интенсивном и равномерном характере экстракции. Для катионов $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ коэффициент (α) составляет 0,003, что на два порядка ниже, вероятно, это свидетельствует о прочной связи железа с органическими структурами сырья [18].

Свободный член (b) для Ca^{2+} 57,9 значительно превышает этот показатель для $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ (0,075), это свидетельствует о наличии в ламинариевых водорослях высокого содержания поверхностно-связанных солей кальция, которые переходят в раствор на начальных этапах варки.

Линейный характер моделей ($\alpha > 0$) позволяет предположить, что потенциал перехода в отвар Ca^{2+} и Fe^{2+} к 90-й минуте варки еще не исчерпан, в отличие от катионов K^+ и Na^+ .

Изучение минерального профиля отваров на 60-й и 90-й минутах варки (рис. 4) позволяют обосновать целесообразность завершения процесса на 90-й минуте. Диаграмма показывает, что в этот момент достигается баланс между пенообразующей способностью и максимальным содержанием макро- и микроэлементов.

Из диаграммы 4 видно, что контур многоугольника (90 мин) равномерно вытянут вдоль всех осей, что говорит о формировании в финале варки наиболее обогащенного микро- и макроэлементами отвара с высокой пенообразующей способностью.

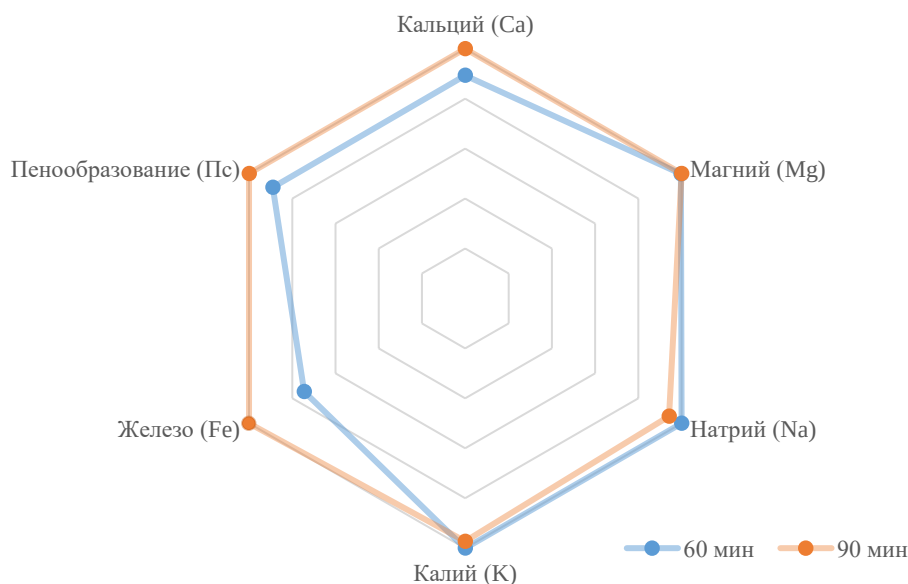


Рис. 4. Минеральный профиль отвара ламинариевых водорослей. Составлено авторами
Fig. 4. Mineral profile of kelp infusion. Compiled by the authors

Диаграмма демонстрирует эффект сорбции катионов щелочных металлов (K^+ , Na^+).

Заключение

Проведенные исследования показали, что, варьируя режимы варки *Saccharina japonica*, можно получать отвары с разным минеральным профилем, адаптируя его под конкретную технологическую задачу. Например, для производства напитков, направленных на поддержание водно-солевого состава, где важным является высокое содержание катионов K^+ и Na^+ целесообразно использовать отвар, образующийся после 30–45 мин варки.

Если технологической задачей является производство концентрированных основ для соусов, напитков и др., продолжительность варки необходимо увеличить до 90 мин. Для производства функциональных продуктов, обогащенных катионами Ca^{2+} и Fe^{2+} с целью профилактики анемии и остеопороза, продолжительность варки сырья должна составлять не менее 90 мин.

Таким образом, отвары *Saccharina japonica* являются ценным сырьем для производства широкого ассортимента пищевой продукции, а также могут найти широкое применение в косметической промышленности, биотехнологии, сельском хозяйстве и других отраслях промышленности [19–21].

Список источников

1. Подкорытова, А. В. Бурые водоросли *Saccharina latissima* и *Laminaria digitata* Белого моря: биохимическая, технологическая характеристики и практическое применение/ А. В. Подкорытова, А. Н. Рощина, Н. В. Евсеева, М. О. Березина, Ю.А. Баскакова // Труды ВНИРО. 2025. Т. 200. С. 61–79.
2. Титлянов, Э. А. Полезные вещества морских бурых макроводорослей: химическое строение, физико-химические свойства, содержание, использование/ Э. А. Титлянов, Т. В. Титлянова, О. С. Белоус // Известия ТИНРО. 2011. Т. 164. С. 416–431.
3. Бурак Л. Ч. Состояние и перспективы использования морских водорослей в качестве источника белка и биологически активных веществ // Sciences of Europe. 2024. № 143. С. 4–13.
4. Шепелева, О. А. Морские водоросли как важный функциональный ингредиент и продовольственное сырье для обогащения рационов питания населения Арктической зоны Российской Федерации (обзор) / О. А. Шепелева, Г. Н. Дегтева, И. И. Новикова, И. Г. Шевкун, С. П. Романенко, М. В. Семенихина, О. Н. Попова, А. Б. Гудков // Журнал медико-биологических исследований. 2024. Т. 12, № 1. С. 99–113.
5. 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, № 4. С. 156–172.
6. Дементьева, Н. В. Обоснование способа первичной обработки ламинарии японской для производства пищевой продукции / Н. В. Дементьева, Т. М. Бойцова, Н. В. Соколова, П. Н. Круговая, Г. П. Шепелев // Пищевая промышленность. 2021. № 12. С. 27–30.
7. Дементьева, Н. В. Разработка рецептур и технологии конфет с повышенной пищевой ценностью из ламинарии японской / Н. В. Дементьева, Т. М. Бойцова // Индустрия питания / Food Industry. 2022. Т. 7, № 2. С. 18–24.
8. Дементьева, Н. В. Влияние способов обработки ламинарии японской на органолептические и химические показатели водорослей / Н. В. Дементьева, Т. М. Бойцова // Пищевая промышленность. 2023. № 13. С. 73–78.
9. Yunardi R. T. Digital image segmentation for foaminess measurement on foam stability of the lubricant products / R. T. Yunardi [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. 2019. Vol. 1201, I № 1. P. 012053.
10. Давыдов, Н. Д. Кинетические закономерности экстрагирования биоактивных соединений из свежего шпината и сухой микроводоросли хлореллы / Н. Д. Давыдов, С. А. Бредихин, А. Х.-Х. Нугманов, П. Д. Осмоловский, А. В. Жевнеров // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 75, № 1. С. 29–38.
11. Табакаева, О. В. Обоснование возможности использования потенциально промысловых бурых водорослей Дальневосточного региона в пищевых технологиях / О. В. Табакаева // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1(24). С. 116–120.
12. Advanced Technologies for the Extraction of Marine Brown Algal Polysaccharides / A. Dobrinčić, S. Balbino, Z. Zorić [et al.] Marine Drugs. 2020. Vol. 18, № 3. P. 168.
13. Improvement of Alginate Extraction from Brown Seaweed (*Laminaria digitata* L.) and Valorization of Its Remaining Ethanolic Fraction I. M. Savić Gajić, I. M. Savić Molecules. 2021. Vol. 26, № 20. P. 6173.
14. Табакаева, О. В. Биологически активные вещества потенциально промысловых бурых водорослей Дальневосточного региона / О. В. Табакаева, А. В. Табакаева // Вопросы питания. 2016. Т. 85, № 3. С. 126–132.

15. Имбс, Т. И. Сравнительное изучение химического состава этанольных экстрактов бурых водорослей и их влияния на рост проростков и урожайность сои *Glycine max (L.)* / Т. И. Имбс, Е. Л. Чайкина, Л. А. Дега, А. П. Ващенко, М. М. Анисимов // Химия растительного сырья. 2010. № 1. С. 143–148.

16. Щукин, В. М. Особенности элементного состава ламинарии слоевищ (*Laminariae thalli*) различного происхождения / В. М. Щукин, Е. А. Хорольская, Н. Е. Кузьмина, И. П. Ремезова, В. В. Косенко // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2023. № 13(2). С. 154–172.

17. Меренкова, С. П. Анализ реологических свойств овощных и майонезных соусов, выработанных с применением функциональных растительных добавок / С. П. Меренкова, А. А. Лукин // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия : Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 4. С. 96–105.

18. Пат. 2425870 Российская Федерация, МПК C12N 1/20, G01N 33/18. Способ приготовления питательной среды для учета сапрофитных гетеротрофных бактерий в морской воде. № 2010103756/10 ; заявл. 04.02.2010 ; опубл. 10.08.2011 / Бузолёва Л. С. ; заявитель и патентообладатель Учреждение Российской академии наук Институт биологии моря им. А. В. Жирмунского Дальневосточного отделения РАН (ИБМ ДВО РАН). 7 с.

19. Кузьмина, С. П. Экономическая эффективность применения водного экстракта ламинарии при производстве соковой продукции / С.П. Кузьмина // Научно-технический и социально-экономический потенциал развития АПК РФ : материалы Всероссийской научно-практической конференции имени Заслуженного деятеля науки КБР, Заслуженного агронома РФ, доктора сельскохозяйственных наук, профессора М. Х. Ханиева. Том Часть II. Нальчик, 2022. С. 346–349.

20. Пат. 2154098 Российская Федерация, МПК C13F 3/00, A23L 1/304. Способ получения йодированного сахара. № 99113626/13 ; заявл. 22.06.1999 ; опубл. 10.08.2000 / Елупов В. Ю. ; заявитель и патентообладатель Елупов В. Ю. 5 с.

21. Благоданова, М. В. Разработка технологии леденцовой карамели с использованием водорослевого отвара / М. В. Благоданова // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2017. № 42. С. 39–45.

Сведения об авторах

С. В. Журавлева – кандидат технических наук, доцент кафедры естественных наук и БЖД, SPIN-код: 3527-3728, AuthorID: 623521.

Т. М. Бойцова – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры промышленного рыболовства, SPIN-код: 2275-3434, AuthorID: 277337.

Е. Г. Новицкая – кандидат технических наук, доцент базовой кафедры пищевой и клеточной инженерии, SPIN-код: 4828-2518, AuthorID: 744709.

А. В. Панкина – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры естественных наук и БЖД, SPIN-код: 6118-6210, AuthorID: 1052623.

Information about the authors

S. V. Zhuravleva – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Life Safety, SPIN-code: 3527-3728, AuthorID: 623521.

T. M. Boytsova – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of the Department of Industrial Fisheries, SPIN-code: 2275-3434, AuthorID: 277337.

E. G. Novitskaya – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor of the Basic Department of Food and Cell Engineering, SPIN-code: 4828-2518, Author ID: 744709.

A. V. Pankina – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Natural Sciences and Life Safety, SPIN-code: 6118-6210, AuthorID: 1052623.

Статья поступила в редакцию 27.04.2026; одобрена после рецензирования 04.05.2026; принята к публикации 12.05.2026.

The article was submitted 27.04.2026; approved after reviewing 04.05.2026; accepted for publication 12.05.2026.

© Журавлева С. В., Бойцова Т. М., Новицкая Е. Г., Панкина А. В., 2026.

«Кинетика накопления сухих веществ и минеральный профиль отваров *Saccharina japonica*» [Журавлева С. В., Бойцова Т. М., Новицкая Е. Г., Панкина А. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664.959.5

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-06

EDN: HLTSQL

Исследование технологического потенциала сердец тихоокеанских лососей

Никита Евгеньевич Котов¹, Денис Владимирович Полещук²,
Светлана Николаевна Максимова³, Любовь Юрьевна Лаженцева⁴

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия

¹ nkotov117@gmail.com, ORCID: 0009-0001-1290-1346

² tym1988@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0818-1542

³ maksimova.sn@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-9654-1044

⁴ lazhenцева.lyubov@mail.ru, ORCID: 0009-0007-1338-3900

Аннотация. Представлены результаты экспериментальных исследований технологического потенциала сердец тихоокеанских лососей на примере кеты, которая имеет высокий потребительский спрос, промысловую значимость, пищевую ценность. Изучены следующие характеристики пищевого вторичного сырья лососевых (сердец): размерно-массовый состав, физические показатели, общий химический состав, биологическая ценность белков, биологическая активность жиров, относительная биологическая ценность. Наличие технологического потенциала у сердец лососевых подтверждается ресурсной достаточностью – 105,16 т в год (на примере 2025 г.), общим химическим составом, анализ которого позволяет отнести данное вторичное сырье к среднебелковому. В составе белковой фракции содержится 42,35 % незаменимых аминокислот, в составе жира – 44,84 % полиненасыщенных жирных кислот. Данные результаты, включая величину относительной биологической ценности, свидетельствуют о высоком технологическом потенциале сердец лососевых.

Ключевые слова: сердца, тихоокеанские лососи, технологический потенциал, физические показатели, химический состав, биологическая ценность

Для цитирования: Котов Н. Е., Полещук Д. В., Максимова С. Н., Лаженцева Л. Ю. Исследование технологического потенциала сердец тихоокеанских лососей // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 66–76.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 66–76.

FOOD SYSTEMS

Original article

Exploring the technological potential of Pacific salmon hearts

Nikita E. Kotov¹, Denis V. Poleshchuk², Svetlana N. Maksimova³, Lyubov Yu. Lazhenцева⁴

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ nkotov117@gmail.com, ORCID: 0009-0001-1290-1346

² tym1988@mail.ru, ORCID: 0000-0002-0818-1542

³ maksimova.sn@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-9654-1044

⁴ lazhenцева.lyubov@mail.ru, ORCID: 0009-0007-1338-3900

Abstract. The article presents the results of experimental studies on the technological potential of Pacific salmon hearts using the example of chum salmon, which has high consumer demand, commercial importance, and nutritional value. The following characteristics of the secondary food raw materials of salmon (hearts) have been studied: size and mass composition, physical parameters, general chemical composition, biological value of proteins, biological activity of fats, relative biological value. The availability of technological potential in salmon hearts is confirmed by the resource sufficiency – 105.16 tons per year (using the example of 2025), the total chemical composition, the analysis of which allows us to classify this secondary raw material as medium-protein. The protein fraction contains 42.35 % of essential amino acids, while fat contains 44.84 % of polyunsaturated fatty acids. These results, including the relative biological value, indicate the high technological potential of salmon hearts.

Keywords: hearts, pacific salmon, technological potential, physical characteristics, chemical composition, biological value

For citation: Kotov N. E., Poleshchuk D. V., Maksimova S. N., Lazhenceva L. Yu. Exploring the technological potential of Pacific salmon hearts. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2): 66–76. (in Russ.).

Введение

Для регионов Дальнего Востока одним из важнейших факторов, оказывающих существенное влияние на социально-экономические процессы, является лососевая путина. Объемы вылова тихоокеанских лососей составили: в 2022 г. – 272,2 тыс. т; в 2023 г. – 608,8 тыс. т; в 2024 г. – 235,5 тыс. т; в 2025 г. – 335 тыс. т [1]. Учитывая важность лососевой путины и большие объемы добычи, ключевой задачей является рациональное и комплексное использование сырьевых ресурсов.

При промышленной переработке тихоокеанских лососей (род *Oncorhynchus*) традиционно производят мороженые рыбу и молоки, а также икру зернистую. Печень и молоки лососевых ученые предлагают использовать для получения биологически активных препаратов [2–4] и производства кулинарных изделий [5–7].

При этом в отечественной и зарубежной литературе исследования, посвященные использованию в пищевой технологии сердец лососевых, представлены ограничено.

Учеными ТИНРО представлен способ выделения из сердец лососевых Цитохрома С с целью использования его в составе БАД [8].

Использование сердец лососевых на пищевые цели описано учеными ФГБОУ ВО «ХГУЭП». Предложена технология рыбной кулинарной продукции и дана органолептическая оценка вареных сердец. Отмечена мягкая консистенция, приятный вкус и легкий аромат продукта, с отсутствием горечи. В сравнении с субпродуктами теплокровных животных, а именно свиных и говяжьих сердец, указано содержание основных пищевых веществ примерно на одном уровне [9].

Зарубежными учеными представлен способ приготовления лососевых сердец, включающий использование в рецептуре зеленого лука, имбиря, чеснока, зеленого и красного перца. Описаны следующие этапы технологического процесса: извлечение сердец, промывка, стекание, добавление компонентов части рецептуры, обжаривание на масле с остальной частью компонентов [10].

При этом технологический потенциал сердец лососевых остается малоизученным. Отсутствие данных о его свойствах как пищевого сырья препятствует разработке научно обоснованных технологий его переработки и вовлечению в производство продуктов с высокой добавленной стоимостью.

Существующие в настоящий момент способы переработки вторичного рыбного сырья в виде внутренних органов рыб направлены в основном на производство гомогенных пастеризованных или стерилизованных продуктов. Так, печень и молоки минтая [11–12] и трески используются в производстве различных видов продукции, в рецептуру которых добавляют растительные компоненты, соуса и мясное сырье для компенсации содержания белка [13–

15]. Таким образом, одним из направлений рационального использования сердец лососевых может быть технология гомогенных термически обработанных пищевых продуктов.

Цель настоящих исследований – изучение технологического потенциала сердец тихоокеанских лососей и разработка научно обоснованных подходов к их использованию в технологии пищевых рыбных продуктов.

Объекты и методы исследования

Основным материалом исследования являлось сердце кеты *Oncorhynchus keta* мороженое. Данный вид сырья был получен на рыбопромышленном предприятии ООО Артель «ИНЯ» в августе 2025 г. Разработан и утвержден СТО 50428341-002-2025 «Сердечки лососевых рыб мороженые» [16], в котором описан процесс сбора и заготовки данного вторичного рыбного сырья.

В рамках настоящей работы исследовали сердце кеты, которая отличается высокой пищевой ценностью среди всех промысловых рыб семейства лососевых и при первичной обработке всегда подвергается разделке.

Все исследования проводились на базе лабораторий УЛК ИПП ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз», куда вторичное сырье поступило в мороженом виде.

Для определения содержания воды использовали метод, описанный в ГОСТ 7636-85. Метод основан на высушивании пробы до постоянной массы при температуре 100–105 °С (арбитражный метод) [17].

Липиды определяли рефрактометрическим методом, также указанным в ГОСТ 7636-85 (стандартный метод). Метод основан на извлечении жира растворителем и определении его количества в экстракте (мисцелле) по коэффициенту преломления [17].

Белок определяли по Кьельдалю (общий азот). По этому методу общий азот определяется в виде аммиака (NH_3) после разрушения азотосодержащего вещества (продукта) горячей концентрированной кислоты H_2SO_4 [18].

Содержание минеральных веществ определено с использованием метода полного сжигания органических веществ, удаления продуктов их сгорания и определения оставшейся минеральной составной части (зола) исследуемого материала [18].

Аминокислотный профиль белка сердца кеты определяли по методике кислотного гидролиза белка. Количественное содержание аминокислот, полученных после полного распада белка, определяли на капиллярном электрофорезе «Капель 105» [19].

Для определения состава жирных кислот общие липиды конвертировали в метиловые эфиры жирных кислот (МЭЖК) по авторской методике [20]. Газожидкостную хроматографию МЭЖК проводили на хроматографе GC-14B (Shimadzu, Япония) с использованием капиллярной колонки Supelcowax™ 10. Идентификацию жирных кислот проводили с использованием индексов удерживания [21], количественное определение – по площадям хроматографических пиков [22–23].

Относительную биологическую ценность (ОБЦ) определяли по методике, описанной Шульгиным Ю. П. с соавторами [24]. Для определения ОБЦ использовали семидневную культуру *Tetrahymena pyriformis* (Царство – *Protista*, Тип – *Eukaryote*, Класс – *Ciliophora*, Подкласс – *Cyrtophora*, Отряд – *Oligohymenophorea*, Семейство – *Hymenostomatia*, Род – *Tetrahymenidae*), приобретенную в ООО «Европолитест» в марте 2026 г. и соответствующую свидетельству на тест-объект для биотестирования. Согласно указанному документу использованная в исследовании инфузория не является опасным микроорганизмом для человека и животных. В рамках исследования применяли классический метод прямого подсчета при использовании счётной камеры Фукса–Розенталя. В качестве контрольного субстрата использовали казеин по ГОСТ 31689-2012 [25].

Результаты исследования

Совокупность технологических характеристик сырья (технологический потенциал) предопределяет перспективы его использования для производства определенного вида продукции. В данной работе к характеристикам технологического потенциала сырья относят следующие: размерно-массовый состав, размерно-массовую характеристику, общий химический состав, биологическую ценность белков, биологическую активность жиров, относительную биологическую ценность.

Изображение сердца кеты с размерными характеристиками представлено на рис. 1.

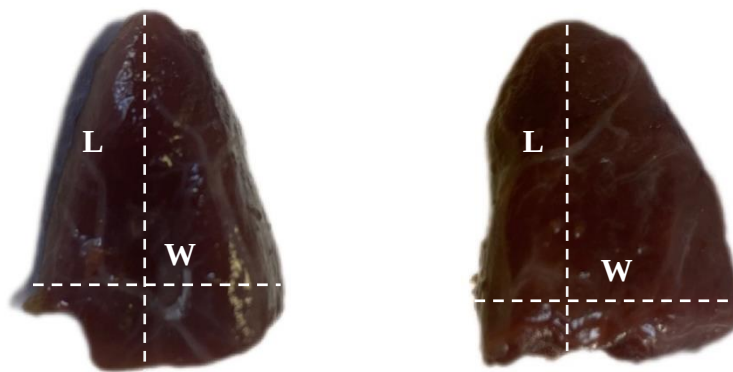


Рис. 1. Изображение сердца кеты в разных ракурсах. Фото авторов
Fig. 1. Image of chum salmon heart from different angles. Photo by the authors

На рис. 1 проведены пунктирные линии L (длина) и W (ширина).

Для данного образца L (длина) составляет 3 см и W (ширина) 2,5 см. Средние же величины L (длины) – 2,71 см и W (ширины) – 2,07 см.

Исследования размерно-массового состава свидетельствуют, что средняя масса сердца кеты – $3,85 \pm 0,5$ г.

Экспериментальным путем установлено, что выход сердец лососевых составляет от 0,15 до 0,20 % к массе целой рыбы.

Сырьевая доступность сердец при промышленном вылове кеты за 2025 г. 60,1 тыс. т [1] составляет около 105,16 т.

Результаты исследования общего химического состава сердец лососевых приведены в табл. 1.

Таблица 1

Общий химический состав сердец лососевых

Table 1

General chemical composition of salmon hearts

Показатель	Содержание, %
Вода	$81,47 \pm 0,10$
Белок	$14,46 \pm 0,21$
Жир	$3,34 \pm 0,08$
Минеральные вещества	$0,73 \pm 0,05$
Итого	100

На основании полученных данных по описанной классификации содержания белка в сырье [26] сердце кеты можно отнести к среднебелковому сырью (10–15 %). Содержание белка в сердце кеты незначительно ниже, чем в печени и молоках лососевых. Незначительное количество жира в исследуемом сырье также учитывается при оценке его пищевой (энергетической) ценности (табл. 2).

Таблица 2

Энергетическая ценность сердец лососевых

Table 2

Energy value of salmon hearts

Показатель	Содержание, ккал
Белок	57,84
Жир	30,06
Итого	87,9

По величине энергетической ценности сердце кеты соответствует категории низкокалорийных продуктов, классификация которых описана в литературных источниках [27]. Значит, исследуемое сырье может быть использовано в технологии продуктов низкокалорийных для диетического питания.

Для оценки биологической ценности и биологической активности сердец тихоокеанских лососей оценивали состав белков и жиров.

Биологическая ценность белков сердец лососевых оценена по их аминокислотному составу (табл. 3).

Таблица 3

Аминокислотный состав белков сердец лососевых

Table 3

Amino acid composition of salmon heart proteins

Аминокислота	Шкала ВОЗ / ФАО, г/100 г белка	Содержание, в сердцах лососевых	
		В г / на 100 г белка	Аминокислотный скор, в %
Незаменимые аминокислоты			
Валин (Val)	5,0	5,31	106,2
Лейцин (Leu)	7,0	9,23	131,86
Изолейцин (Ile)	4,0	4,87	121,75
Лизин (Lys)	5,5	7,72	140,36
Треонин (Thr)	4,0	4,89	122,25
Метионин (Met) + Цистеин (Cys)	3,5	2,45	70
Фенилаланин (Phe) + Тирозин (Tyr)	6,0	7,88	131,33
Триптофан (Trp)	1,0	Не определялся	Не определялся -
Сумма незаменимых аминокислот		42,35	
Заменимые аминокислоты			
Аспарагиновая кислота (Asp)		9,50	
Серин (Ser)		4,36	
Глутаминовая кислота (Glu)		15,49	
Глицин (Gly)		5,19	
Аланин (Ala)		6,10	
Гистидин (His)		2,72	
Аргинин (Arg)		6,12	
Пролин (Pro)		8,18	
Сумма заменимых аминокислот		57,66	

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод о биологической ценности белков сердец лососевых, в которых содержится 42,35 % незаменимых аминокислот. Причем содержание большинства аминокислот превышает их содержание в идеальном белке по шкале ФАО ВОЗ. Лимитирующими аминокислотами являются метионин с цистеином [28]. Дефицит

отдельных аминокислот в белке сердец можно восполнить, сочетая данный вид сырья с продуктами, содержащими эти незаменимые серосодержащие аминокислоты в достаточном количестве.

Биологическую активность жира сердец лососевых подтверждали его жирнокислотным составом (табл. 4).

Таблица 4

Жирнокислотный состав сердец лососевых

Table 4

Fatty acid composition of salmon hearts

Жирные кислоты и их % от общей суммы					
НЖК		МНЖК		ПНЖК	
12:0	0,29	16:1 n-7+n-9	2,83	16:2 n-4	0,74
14:0	3,53	16:1 n-5	0,14	16:3 n-4	0,29
15:0	0,36	18:1 n-9 (олеиновая)	12,50	16:4 n-1	0,07
16:0	18,16	18:1 n-7	2,04	18:2 n-6 (линолевая)	0,62
17:0	0,33	18:1 n-5	0,63	18:2 n-9	0,09
18:0	4,89	19:1 n-9	0,22	18:2 n-4	0,16
20:0	0,19	20:1 n-11	1,75	18:3 n-6	0,32
i-15:0	0,10	20:1 n-9	1,36	18:3 n-3 (линоленовая)	0,47
i-16:0	0,05	20:1 n-7	0,81	18:4 n-3	0,54
ai-16:0	0,07	20:1 n-5	0,07	18:4 n-1	0,19
i-17:0	0,18	22:1 n-11	1,69	20:2 n-6	0,23
ai-17:0	0,08	22:1 n-9	2,30	20:3 n-6	0,11
i-18:0	0,19	22:1 n-7	0,08	20:4 n-6	0,81
i-19:0	0,06			20:3 n-3	0,07
				20:4 n-3	0,81
				20:5 n-3 (ЭПК)	8,39
				21:5 n-3	0,16
				22:4 n-6	0,13
				22:5 n-3	2,79
				22:6 n-3 (ДГК)	27,85
Сумма кислот					
28,48		26,42		44,84, в том числе:	
				Сумма n-3 (омега-3) – 41,08	
				Сумма n-6 (омега-6) – 2,22	
				Сумма ЭПК и ДГК – 36,24	

В исследуемом жире сумма полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) группы ω -3 составляет 41,08 % от суммы всех ЖК, а группа ω -6 – 2,22 %. Согласно литературным данным, для тканей лососевых характерен высокий уровень длинноцепочечных ПНЖК ω -3, что обусловлено кормовой базой исследуемого вида лососей [29].

Диетические рекомендации предписывают использование этих жирных кислот для первичной и вторичной профилактики сердечно-сосудистых заболеваний. В зарубежной научной литературе описаны кардиопротекторные эффекты ω -3 ПНЖК, которые могут быть обусловлены их противовоспалительными свойствами, липидомодулирующим действием, а также антитромботическим и вазодилатирующим эффектами [30–31].

О биологической ценности сердец лососевых судили также по величине относительной биологической ценности (ОБЦ). Результаты исследования графически представлены на рис. 2.

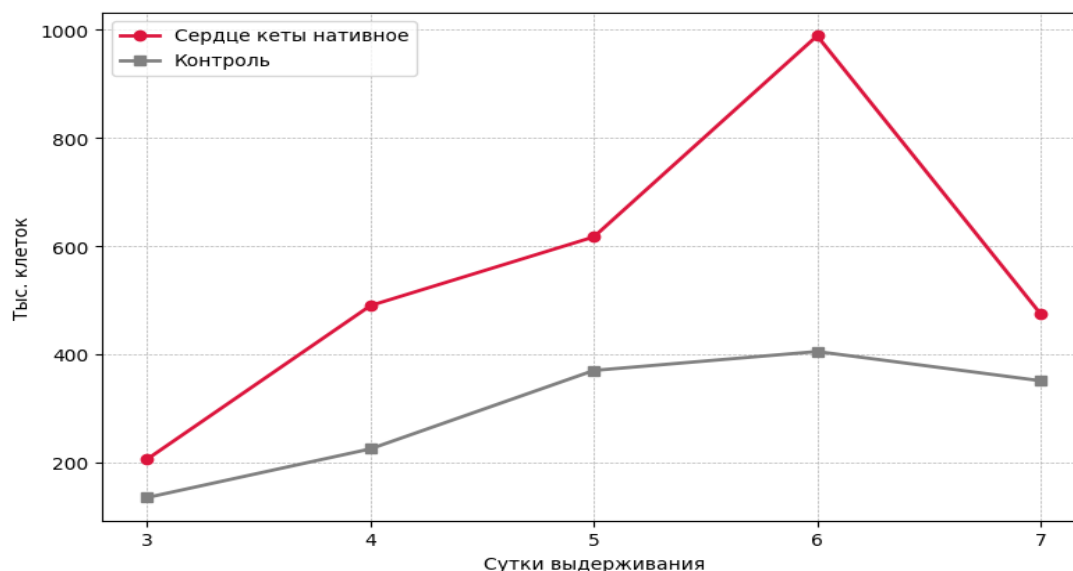


Рис. 2. Диаграмма роста клеток сердца кеты нативного по отношению к контролю.

Составлено авторами

Fig. 2. Diagram of the growth of native chum salmon heart cells relative to the control.

Compiled by the authors

Особенности роста культуры инфузорий *Tetrahymena pyriformis* соответствуют классической закономерности развития популяции живых систем в благоприятной для роста среде обитания. Прохождение основных фаз развития популяции инфузории как в контрольном образце (казеин), так и в опытном образце (сердца лососевых) осуществлялось в течение 7 сут. На восьмые сутки культура инфузорий переходит в стадию отмирания и характеризуется как исчерпавшая в среде основные пищевые компоненты. Из графических данных видно, что наиболее активный рост культуры инфузорий наблюдается на 6-е сутки, что обеспечивает использование графических данных для определения ОБЦ лососевых сердец.

Последующий расчет позволил установить, что ОБЦ лососевых сердец составляет $205,19 \pm 43,32$ % относительно казеина, т.е. превышает ОБЦ казеина более чем в 2 раза. Данное значение свидетельствует о высокой усвояемости и пищевой ценности белкового компонента тканей лососевых сердец, что обеспечивается полноценным аминокислотным скором белка, а также ценным микроэлементным составом.

Поиск микроэлементного состава в информационных источниках сердец лососевых не дал результата. Из литературных данных известно, что, несмотря на анатомические различия в строении миокарда рыб и наземных животных, функциональная биохимическая активность коронарных органов рыб, в том числе сердца, совпадает у них на 98 %, что свидетельствует об идентичном биохимическом составе этих систем с наземными высшими животными [32]. В свою очередь, микроэлементный состав миокарда наземных высших животных изучен и богат микроэлементами: цинком (Zn), марганцем (Mn), железом (Fe), а также витаминами группы В: цианокобаламином (В₁₂), рибофлавином (В₂), пантотеновой кислотой (В₅) [33].

Исследование морфологических характеристик инфузории *Tetrahymena pyriformis* также позволило установить соответствие нормам, а именно размер клеток варьировал по ширине в пределах $30,66 \pm 3,33$ мкм, по длине – $76,66 \pm 3,36$ мкм. Форма клеток соответствовала каплевидной вытянутой форме и являлась нормальной без атипичных признаков (рис. 3).

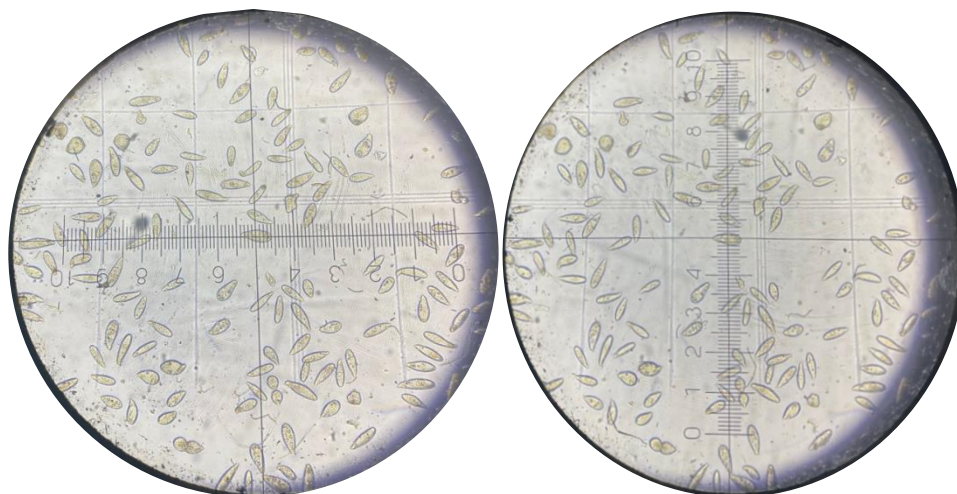


Рис. 3. Фотография клеток в культуре *Tetrahymena pyriformis* в опытном образце на 6-е сутки исследования. Фото сделано авторами

Fig. 3. Photograph of cells in a *Tetrahymena pyriformis* culture in an experimental sample on the 6th day of the study. Photo taken by the authors

Движение клеток в культуре также характеризовалось физиологически адекватными признаками – клетки в нативной культуре активно двигались: поступательно, вращательно, активно, что свидетельствует о высокой метаболической активности исследованных клеток инфузорий из-за присутствия высокоценной пищевой базы. Таким образом, результаты исследования свидетельствуют о высокой усвояемости и биологической ценности белков сердец рыб семейства лососевых.

Заключение

На основании результатов экспериментальных исследований можно сделать заключение о наличии высокого технологического потенциала сердец тихоокеанских лососей. Прежде всего, это подтверждается ресурсной достаточностью исследуемого вторичного сырья – 105,16 т в год в 2025 г. Анализ общего химического состава позволяет отнести данное вторичное сырье к среднебелковому. Причем в составе белковой составляющей содержится 42,35 % незаменимых аминокислот, выше чем в «идеальном» белке. Белки характеризуются как высоко усвояемые и биологически ценные. Данные по жирнокислотному составу сердец лососевых свидетельствуют о содержании в них полиненасыщенных жирных кислот в количестве 44,84 %, из которых группа длинноцепочечных ω -3 ПНЖК составляет 41,08 %. Таким образом, установлено наличие у сердец тихоокеанских лососей не только технологического, но и биотехнологического потенциала.

Список источников

1. Колончин К. В. Анализ лососевой путины на Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне в 2025 году // Вопросы рыболовства. 2026. Т. 27, № 1. С. 39–50.
2. Ковалев, Н. Н. Комплексное использование отходов переработки промысловых видов рыб и беспозвоночных Тихоокеанского бассейна для создания новых препаратов биологически активных веществ / Н. Н. Ковалев, Т. Н. Пивненко, Л. М. Эпштейн // Труды СахНИРО. Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалинско-Курильском регионе и сопредельных акваториях. 2002. Т. 3, № 1–2. С. 237–244.
3. Чепкасова А. И. Обоснование биотехнологии БАД к пище из печени тихоокеанских лососей: специальность 05.18.07 «Биотехнология пищевых продуктов и биологических активных веществ»: дис. ... канд. техн. наук / Чепкасова Анна Ивановна, 2015. 131 с.

4. Дроздова, Л. И. Профилактический продукт из молок лососевых / Л. И. Дроздова, Е. В. Якуш, Т. Н. Пивненко, Ю. М. Позднякова // Труды СахНИРО. Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях. 2002. Т. 3, № 1–2. С. 259–262.
5. Пат. 2323579 Российская Федерация, МПК A23B 4/03, A23L 1/325. Способ производства вяленых молок лососевых рыб / Черевач Е. И., Цыбулько Е. И., Юдина Т. П., Бабин Ю. В. (RU); заявитель и патентообладатель. № 2006120808/13 ; заявл. 15.06.2006 ; опубл. 10.05.2008.
6. Дементьева, Н. В. Технология вареных колбасных изделий из молок тихоокеанских лососевых / Н. В. Дементьева, В. Д. Богданов, Ю. А. Коровина // Научные труды Дальрыбвтуза. 2012. Т. 25. С. 101–110.
7. Полещук, Д. В. Технология обогащенного комбинированного продукта из молок лососевых / Д. В. Полещук, С. Н. Максимова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2014. № 1(337). С. 62–64.
8. Аюшин, Н. Б. Цитохром С из сердец лососей: способы получения и свойства / Н. Б. Аюшин, Н. Н. Ковалев // Известия ТИНРО. 2006. Т. 146. С. 288–293.
9. Теоретическое обоснование использования вторичного рыбного сырья в технологии кулинарной продукции / Д. В. Купчак, И. Э. Богрянцева, Т. А. Бортник, Л. А. Морозов // Вестник Хабаровского государственного университета экономики и права. 2021. № 2(106). С. 81–86.
10. CN111480807A, МПК A23L17/00. Способ кулинарного приготовления сердец лосося / Ма Лэй; патентообладатель: Xinjiang Tianyun Organic Agriculture Co ltd. № CN201910065548.7 ; заявл. 25.01.2019 ; опубл. 04.08.2020.
11. Ярочкин, А. П. Паштетные консервы из обезжиренной печени минтая / А. П. Ярочкин, И. Н. Вахрушев, Т. А. Саяпина, Ю. Н. Кузнецов // Рыбное хозяйство. 1997. № 4. С. 53–54.
12. Ярочкин А. П., Чупикова Е. С., Вахрушев И. Н., Куклев Д. В. Молоки минтая как пищевое сырье // Рыбное хозяйство. 2000. № 4. С. 50.
13. Гроховский В. А., Волченко В. И. Традиционные и инновационные технологии продуктов из печени гидробионтов : монография. Мурманск : Изд-во МГТУ, 2009. 68 с.
14. Гроховский, В. А. Разработка нового ассортимента консервов-паштетов из мороженных гонад и печени трески / В. А. Гроховский, Л. К. Куранова, В. И. Волченко [и др.] // Вестник МГТУ. Труды Мурманского государственного технического университета. 2016. Т. 19, № 3. С. 603–609.
15. Несвященко, С. С. Использование печени трески и ее жира в технологии многокомпонентных пищевых продуктов / С. С. Несвященко, В. И. Волченко, В. А. Гроховский [и др.] // Вестник Международной академии холода. 2015. № 1. С. 20–25.
16. СТО 50428341-002-2025. Сердечки лососевых рыб мороженные: стандарт организации / ООО РПК «Артели «Иня». Владивосток, 2025. 22 с.
17. ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М. : Изд-во стандартов, 1998. 142 с.
18. Головин А. Н. Контроль производства рыбной продукции. Ч. 1 : Пищевая промышленность, 1978.
19. ГОСТ 34132-2017. Мясо и мясные продукты. Метод определения аминокислотного состава животного белка. М. : Стандартинформ, 2017. 19 с.
20. Carreau J. P., Dubacq J. P. Adaptation of a macro-scale method to the micro-scale for fatty acid methyl transesterification of biological lipid extracts // J. Chromatogr. 1978. Vol. 151. P. 384–390.
21. Christie W. W. Equivalent chain-lengths of methyl ester derivatives of fatty acids on gas chromatography. A reappraisal // J. Chromatogr. A. 1988. Vol. 447, № 2. P. 305–314.
22. ГОСТ 31663-2012. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот. М. : Стандартинформ, 2013. 16 с.

23. ГОСТ 31665-2012. Масла растительные и жиры животные. Получение метиловых эфиров жирных кислот. М. : Стандартинформ, 2013. 12 с.
24. Шульгин Ю. П., Шульгина Л. В., Петров В. А. Ускоренная биотис оценка качества и безопасности сырья и продуктов из водных биоресурсов. Владивосток : Изд-во ТГЭУ, 2006. 124 с.
25. ГОСТ 31689-2012. Казеин. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2014. 20 с.
26. Сафронова, Т. М. Сырье и материалы рыбной промышленности / Т. М. Сафронова, В. М. Дацун, С. Н. Максимова. 3-е изд., испр., доп. СПб. : Лань, 2013. 336 с.
27. Rolls B. J. Dietary strategies for weight management // Nestle Nutrition Institute Workshop Series. 2012. Vol. 73. P. 37–48.
28. GAO Pei, GE Peng-Fei, JIANG Qi-Xing, YU Pei-Pei, YANG Shu-Han, ZHANG Hai-Feng, CHEN Jia-Wen, XIA Wen-Shui. Nutritional analysis and evaluation of different tissues of *Oncorhynchus mykiss* // Journal of Food Safety and Quality. 2022. Vol. 13, No 17. P. 5578–5585.
29. Рудченко А. Е., Карпов В. А., Сушик Н. Н., Глущенко Л. А., Гладышев М. И. Жирнокислотный состав молоди арктического гольца (*Salvelinus alpinus* complex) из естественных экосистем и аквакультуры // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2024. Т. 515, № 1. С. 5–9.
30. Vrablik M., Prusikova M., Snejdrova M., Zlatohlavek L. Omega-3 fatty acids and cardiovascular disease risk: do we understand the relationship? // Physiological Research. 2009. Vol. 58. P. 19–26.
31. Yates C. M., Calder P. C., Rainger G. Pharmacology and therapeutics of omega-3 polyunsaturated fatty acids in chronic inflammatory disease // Pharmacology and Therapeutics. 2014. Vol. 141, No. 3. P. 272–282.
32. Кухарева Т. А. Клеточный состав крови и гемопоэтических органов у некоторых видов донных рыб (Севастопольская бухта, Черное море) : дис. ... канд. биол. наук. Севастополь : Изд-во ФГБУН ФНИИ ИБЮМ имени А. О.Ковалевского, 2019. 150 с.
33. Химический состав российских пищевых продуктов : справочник / под ред. член-корр. МАИ, проф. И. М. Скурихина и академика РАМН, проф. Т. А. Тутельяна. М. : ДеЛи принт, 2002. 236 с.

Сведения об авторах

- Н. Е. Котов – аспирант, ассистент кафедры технологии продуктов питания, SPIN-код: 9752-2657.
- Д. В. Полещук – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии продуктов питания, SPIN-код: 7061-7970.
- С. Н. Максимова – доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой технологии продуктов питания, SPIN-код: 4857-2135.
- Л. Ю. Лаженцева – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры пищевая биотехнология, SPIN-код: 2880-2585.

Information about the authors

- N. E. Kotov – Postgraduate student, Assistant of the Department of Food Technology, SPIN-code: 9752-2657.
- D. V. Poleshchuk – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Technology, SPIN-code: 7061-7970.
- S. N. Maksimova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Technology, SPIN-code: 4857-2135.
- L. Yu. Lazhenceva – PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Food Biotechnology, SPIN-code: 2880-2585.

Статья поступила в редакцию 27.05.2026; одобрена после рецензирования 02.06.2026; принята к публикации 02.06.2026.

The article was submitted 27.05.2026; approved after reviewing 02.06.2026; accepted for publication 02.06.2026.

© Котов Н. Е., Полещук Д. В., Максимова С. Н., Лаженцева Л. Ю., 2026.

«Исследование технологического потенциала сердец тихоокеанских лососей» [Котов Н. Е., Полещук Д. В., Максимова С. Н., Лаженцева Л. Ю.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-07

EDN: JBOTDG

Исследование пищевой ценности и сохраняемости разработанных мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом в составе ламинарии

Ксения Николаевна Савкина

Мурманский арктический университет, Мурманск, Россия
savkinakn2@mauniver.ru, ORCID: 0000-0003-4723-2522

Аннотация. Приведены результаты исследований пищевой ценности и сохраняемости разработанных мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом в составе сушеной ламинарии. Установленное экспериментально содержание основных пищевых веществ в разработанных мучных изделиях составило: белка – 9 %, жира – 13 %, углеводов – 70 %. Содержание йода в 100 г хлебцев составило 202,3 мкг, что позволяет рекомендовать употребление около 40 г мучных изделий для удовлетворения 50 % суточной физиологической потребности йода у взрослых в соответствии с требованиями МР 2.3.1.0253-21 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации». Проведенное исследование сохраняемости разработанных мучных изделий позволило рекомендовать срок годности 90 сут при режиме хранения изделий: температура (19±3) °С, относительная влажность не более 75 %.

Ключевые слова: хлебцы, ламинария, обогащенные мучные изделия, пищевая ценность, срок годности

Благодарности: автор выражает благодарность Научно-образовательному центру мирового уровня «Российская Арктика: новые материалы, технологии и методы исследования» за финансирование исследований в рамках НИР «Разработка и производство пищевых продуктов, обогащенных йодом ламинарии беломорской» № Д-1357 от 15.10.24 г., результаты которых использованы при подготовке статьи.

Для цитирования: Савкина К. Н. Исследование пищевой ценности и сохраняемости разработанных мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом в составе ламинарии // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 77–85.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 77–85.

FOOD SYSTEMS

Original article

Study of the nutritional value and preservation of the developed flour products "Multigrain crispbread", enriched with iodine in kelp

Kseniya N. Savkina

Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia
savkinakn2@mauniver.ru, ORCID: 0000-0003-4723-2522

Abstract. The article presents the results of studies on the nutritional value and preservation of the developed flour products enriched with iodine in dried kelp "Multigrain crispbread".

The experimentally determined content of the main food substances in the developed flour products was: protein – 9 %, fat – 13 %, carbohydrates – 70 %. The iodine content in 100 g of crispbread was 202.3 micrograms, which makes it possible to recommend the use of about 40 g of products to meet 50% of the daily physiological iodine requirement in adults and children in accordance with the requirements of Methodological recommendations 2.3.1.0253-21 "Norms of physiological energy and nutritional requirements for various population groups of the Russian Federation". The conducted study of the preservation of the developed flour products allowed us to recommend a shelf life of 90 days with a storage regime of (19 ± 3) °C, relative humidity – no more than 75 %.

Keywords: fortified flour products, crispbread, kelp, nutritional value, shelf life

Acknowledgments: the author expresses gratitude to the World-class Scientific and Educational Center "Russian Arctic: new materials, technologies and research methods" for financing research within the framework of the research project "Development and production of food products enriched with iodine of kelp White Sea" No. D-1357 dated 10/15/24, the results of which were used in the preparation of the article.

For citation: Savkina K. N. Study of the nutritional value and preservation of the developed flour products "Multigrain crispbread", enriched with iodine in kelp. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):77–85. (In Russ.).

Введение

Культура питания представляет собой фундаментальный элемент повседневной жизни человека. Наши пищевые привычки оказывают комплексное воздействие не только на физиологическое, но и на психоэмоциональное состояние. В настоящее время множество факторов, среди которых неблагоприятная экологическая обстановка, усложнение социально-экономических условий, дефицит времени, несбалансированное питание и снижение уровня физической активности, приводят к недостатку витаминов, минералов и питательных веществ в рационе населения. В связи с этим научное сообщество активно разрабатывает инновационные технологии производства продуктов здорового питания, способных снизить дефицит жизненно важных пищевых нутриентов. Принятая в России Стратегия повышения качества пищевой продукции до 2030 года [1] ставит перед собой масштабные цели по обеспечению населения сбалансированным и качественным рационом. Также стратегия призвана стимулировать выпуск и продвижение на рынке качественных пищевых товаров, что послужит базой для национальной системы управления их качеством. Обогащение продуктов питания является важной частью государственной политики в области здоровья, направленной на решение проблемы дефицита микроэлементов у населения [2]. Ведущие научные организации всего мира признают, что рацион питания играет важную роль в поддержании здоровья и предотвращении болезней у современных людей. Отечественные и международные данные свидетельствуют о том, что одним из наиболее эффективных подходов к устранению дефицита питательных веществ в организме человека является производство обогащенных и функциональных хлебобулочных изделий [3].

Одной из важнейших проблем в сфере здравоохранения является проблема дефицита йода, которая провоцирует ряд патологий, включая эндемический зоб, гипотериоз и проблемы с функционированием щитовидной железы. Заболевания щитовидной железы занимают второе место после сахарного диабета среди наиболее распространенных эндокринных заболеваний россиян [4]. Согласно международным исследованиям, обогащение соли йодом признано оптимальным решением для профилактики йододефицита [5]. Пищевая соль относится к числу универсальных пищевых добавок, экономически доступна и при обогащении йодом ее органолептические свойства не изменяются. За последние двадцать лет широкое внедрение данной практики на глобальном уровне позволило почти вдвое увеличить количество стран, где население получает достаточное количество йода с пищей, что демонстрирует результативность выбранного подхода к решению проблемы [6].

Однако в России менее трети жителей страны употребляют йодированную соль. На протяжении двух десятилетий в Российской Федерации не прекращаются попытки ввести законодательное регулирование профилактики йододефицита. Министерство здравоохранения России разрабатывало соответствующие законопроекты, но они не получали одобрения на этапе оценки регулирующего воздействия [7].

Необходимо отметить, в последние годы исследователи отмечают, что эффективность йодированной соли как метода борьбы с йододефицитом снижается из-за тенденции к сокращению ее потребления, особенно в развитых странах. Данная динамика обусловлена рекомендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) ограничивать суточное потребление соли в целях профилактики сердечно-сосудистых и почечных заболеваний. В результате на первый план выходит поиск альтернативных решений обогащения повседневных рационов йодом [8].

В последние годы усилился интерес к водорослям как к источнику полезных нутриентов. Бурая водоросль ламинария или морская капуста представляет собой ценный пищевой ресурс, ее химический состав характеризуется значительным содержанием макро- и микроэлементов, аминокислот, полисахаридов, а также витаминов групп А, Е, С и К. Особое значение ламинарии обусловлено высоким уровнем содержания йода, что определяет ее востребованность в пищевой промышленности [9]. Богатый химический состав ламинарии обуславливает ее высокую ценность как сырья для производства обогащенных и функциональных пищевых продуктов [10].

Ранее проведенными исследованиями обоснована технология и разработаны рецептуры мучных изделий – хлебцев, обогащенных йодом ламинарии в ассортименте [11]. Главной целью заключительного этапа исследований являлось изучение пищевой ценности и сохраняемости разработанных мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенные йодом ламинарии.

Задачи:

- исследовать сохраняемость и обосновать рекомендуемый срок годности разработанных мучных изделий хлебцев, обогащенных йодом ламинарии;
- исследовать пищевую ценность разработанных мучных изделий, в том числе содержание йода.

Объекты и методы исследования

Экспериментальная работа проведена в лабораторных условиях кафедры технологий пищевых производств ФГАОУ ВО «Мурманский арктический университет». Определение содержания йода в разработанном продукте проведены в аккредитованной на право проведения испытаний лаборатории ООО «ИЛ Тест-Пушино» (Московская область, г. Пушкино). Микробиологические исследования проводили в Испытательном центре продукции, сырья и материалов ФБУ «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Мурманской области» (ФБУ «Мурманский ЦСМ») (г. Мурманск).

Объектом исследования являлись опытные образцы мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», изготовленные по ТУ 10.72–142-00471633-2024 «Изделия мучные (хлебцы), обогащенные йодом ламинарии беломорской». Для обогащения йодом мучных изделий использовалась сушеная порошкообразная ламинария (*Saccharina latissima*) производства ООО «Архангельский водорослевый комбинат» (Россия, г. Архангельск) для предупреждения риска возникновения и развития заболеваний, обусловленных йододефицитом у населения. Хранение изделий в процессе исследований осуществляли в потребительской упаковке, предусмотренной требованиями технической документации, а именно в пакете из полимерных материалов и картонной коробке.

Предмет исследования: химический состав, пищевая и энергетическая ценность, а также сохраняемость разработанных мучных изделий.

В работе использовали органолептические, физико-химические и микробиологические методы исследования.

Для проведения органолептической оценки мучных изделий использовали разработанную пятибалльную шкалу по ГОСТ 5667–65 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Правила приемки, методы отбора образцов, методы определения органолептических показателей и массы изделий».

Был исследован химический состав мучных изделий. Массовую долю воды (В, %) определяли по ГОСТ 21094–75 «Хлеб и хлебобулочные изделия. Метод определения влажности». Массовую долю жира (Ж, %) определяли методом экстракции липидов из навески продукта хлороформом в микроизмельчителе. Массовую долю золы (З, %) определяли весовым методом после озоления навески в муфельной печи при температуре $(500 \pm 0,1)^\circ\text{C}$. Массовую долю общего азота (ОА, %) определяли методом Кьельдаля с минерализацией навески на аппарате Selecta Bloc Digest и последующей отгонкой.

Определение содержания йода в мучных изделиях проводили по МУ 31-07/04 «Определение йода в пищевой продукции ФР.1.31.2004.01166 Методика выполнения измерений содержания йода в пищевых продуктах, продовольственном сырье, кормах и продуктах их переработки, лекарственных препаратах, витаминах, БАДах, биологических объектах (моча) методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторах типа ТА».

Исследование микробиологических параметров безопасности готовых изделий выполнено с соблюдением требований ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» по действующей нормативной документации: количество мезофильных аэробных и факультативно-аэробных бактерий (КМАФАнМ) по ГОСТ 10444.15–94; бактерии группы кишечной палочки (БГКП) по ГОСТ 31747–012; бактерии р. *Salmonella* по ГОСТ Р 31659–2012 (ISO 6579:2002); *Staphylococcus aureus* по ГОСТ Р 31746–2012; дрожжи и плесени по ГОСТ 10444.12–2013.

Результаты и их обсуждение

Химический состав разработанных мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», установленный в ходе экспериментальных исследований, а также результаты расчета энергетической ценности мучных изделий приведены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав и энергетическая ценность мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом ламинарии

Table 1

Chemical composition and energy value of flour products "Multigrain crispbread" enriched with kelp iodine

Показатель	Содержание
ОА, %	1,58±0,09
Белок ¹ , %	9,02
Жир, %	12,72±0,0007
Зола, %,	2,89±0,12
Вода, %	5,87±0,42
Углеводы ² , %	69,50
Йод, мкг в 100 г продукта	202,3
Энергетическая ценность ³ , ккал/кДж	480/1800
Примечание. ¹ массовую долю белка определяли умножением массовой доли общего азота на коэффициент 5,7 (ГОСТ 25832–89); ² массовую долю углеводов определяли расчетным методом (100 – белок, вода, жир, зола); ³ в соответствии с требованиями ТР ТС 022/2012 «Пищевая продукция в части ее маркировки» (Приложение 4) к расчету и округлению результатов.	

Ранее проведенными исследованиями было экспериментально обосновано использование порошка пищевой сушеной ламинарии (размер частиц менее 200 мкм, производитель –

ООО «Архангельский водорослевый комбинат») в качестве йодосодержащего сырья в технологии изготовления нового мучного изделия [11]. Экспериментальные данные показали, что концентрация йода в разработанных мультизлаковых хлебцах достигает 202,3 мкг на 100 г продукта. Таким образом, порция мучных изделий массой 37 г удовлетворяет 50 % суточной физиологической потребности в йоде у взрослого, что соответствует критериям обогащения пищевых продуктов согласно ГОСТ 52349–2005 «Продукты пищевые функциональные. Термины и определения».

В соответствии с ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» срок годности пищевого продукта представляет собой период, на протяжении которого он должен отвечать утверждённым нормам безопасности и сохранять заявленные потребительские характеристики, указанные на маркировке. По завершении этого периода продукт признается непригодным к употреблению.

Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» запрещает реализацию пищевых товаров без четко установленных сроков годности. При этом ТР ТС 021/2011 возлагает на производителя обязанность определять сроки годности и условия хранения выпускаемой пищевой продукции. Для мучных изделий обязательны соблюдения ТР ТС 021/2011, положений санитарного законодательства РФ и других действующих нормативных актов.

График исследования сохраняемости продукции разрабатывали в соответствии с МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. Методические указания», исходя из предполагаемого срока годности, который для аналогичной продукции колеблется от 90 до 180 сут. Предварительно предполагаемый срок годности разработанных мучных изделий принят равным 180 сут. Основной режим хранения изделий $(19 \pm 3)^\circ\text{C}$, относительная влажность – не более 75 % – соответствует требованиям к аналогичной продукции.

Коэффициент резерва составил 1,2 (так как предполагаемый срок годности более 30 сут). Таким образом, период исследований с учетом коэффициента составил 216 сут.

Хранение продукта осуществляли в соответствии с основным температурным режимом, без применения аггравированного режима. Согласно нормативным требованиям, контрольные испытания при аггравированной температуре (превышающей установленную технической документацией на 50 %) проводятся лишь для скоропортящихся пищевых продуктов, которые либо подвергались термообработке при температуре ниже 80°C , либо изготавливались с применением ручных операций [12]. Разработанные мучные изделия не относятся к скоропортящимся продуктам питания в соответствии с приведенным выше определением.

Гигиеническое обоснование срока годности мультизлаковых хлебцев, обогащенных йодом ламинарии, проводилось в соответствии с графиком исследований (представлен в табл. 2) при температуре хранения от 18 до 22°C .

Таблица 2

График исследований по гигиеническому обоснованию срока годности мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом ламинарии

Table 2

Schedule of studies on the hygienic justification of the shelf life of flour products "Multigrain crispbread" enriched with kelp iodine

Предполагаемый срок годности, контролируемые показатели	Периодичность контроля – контрольные точки проведения исследований, сутки хранения					
180 сут	Фон (0 сут)	36	72	144	180	216
Микробиологические (в соответствии с требованиями ТР ТС 021/2012 и др. действующей нормативной документации)	+	+	+	+	+	+
Органолептическая оценка, балл	+	+	+	+	+	+
Физико-химические показатели	+	-	-	-	-	-

Динамика изменения органолептических характеристик изделия в процессе хранения отражена на рис. 1. На рис. 2–3 приведены диаграммы изменения показателей «вкус» и «запах» исследуемых образцов мучных изделий в процессе хранения. Результаты органолептической оценки данных показателей приведены без учета коэффициентов весомости для большей наглядности.

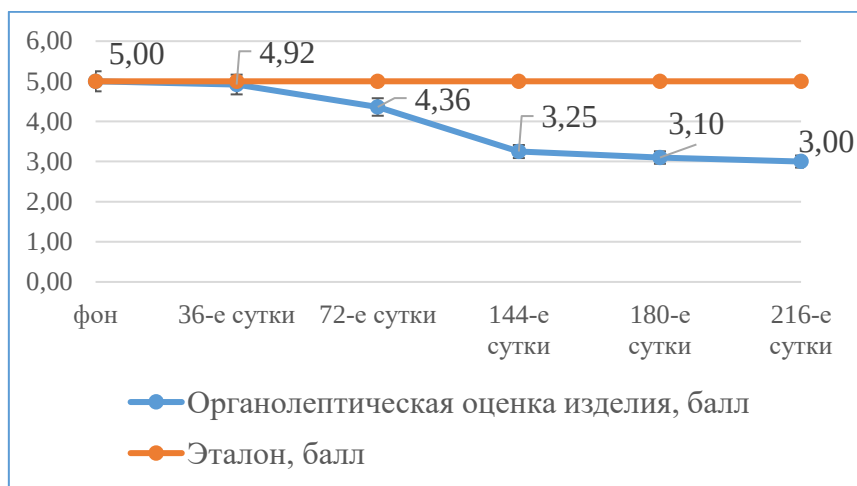


Рис. 1. Результаты оценки органолептических показателей мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом ламинарии в процессе хранения. Составлено автором

Fig. 1. The results of the evaluation of the organoleptic parameters of the "Multigrain crispbread" enriched with kelp iodine product during storage. Compiled by the author

Из рис. 1 следует, что, начиная с 72-х сут хранения наблюдалось резкое снижение органолептической оценки опытных образцов мучных изделий, соответствующее снижению уровня качества с 87,2 % на 72-е сут хранения до 65 % на 144-е и до 60 % к окончанию периода исследований.

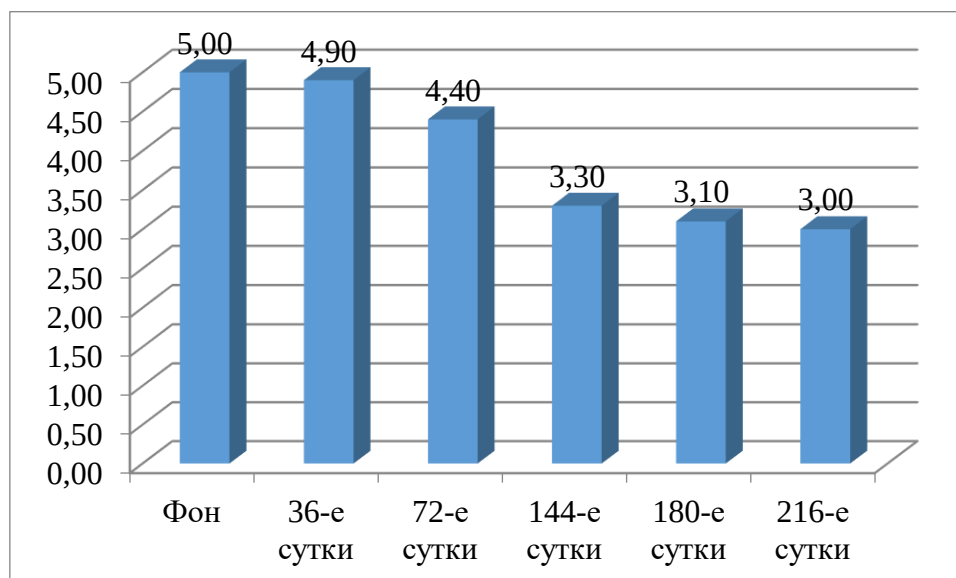


Рис. 2. Диаграмма показателя «вкус» (без учета коэффициента весомости) мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом ламинарии в процессе хранения. Составлено автором

Fig. 2. Diagram of the "taste" indicator (without taking into account the weighting coefficient) of flour products "Multigrain crispbread" enriched with kelp iodine during storage. Compiled by the author

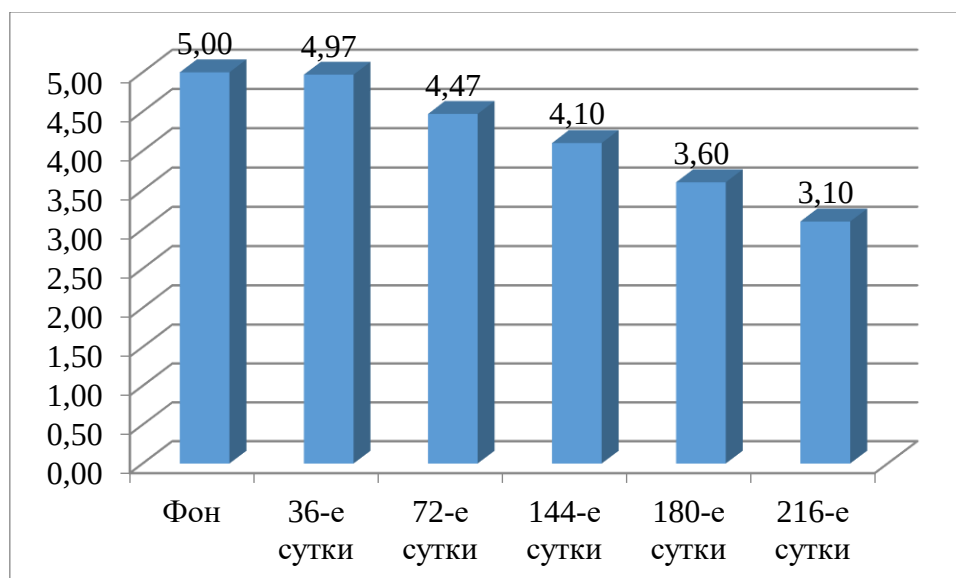


Рис. 3. Диаграмма показателя «запах» (без учета коэффициента весомости) мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом ламинарии в процессе хранения. Составлено автором
Fig. 3. Diagram of the "smell" indicator (without taking into account the weighting coefficient) of flour products "Multigrain crispbread" enriched with kelp iodine during storage. Compiled by the author

Анализ структуры изменения органолептических показателей изделий, представленный в виде диаграмм на рис. 2–3, демонстрирует ключевое влияние показателей «вкус» и «запах» на снижение суммарного балла оценки в результате появления признаков окисления жира в составе хлебцев.

Результаты микробиологических исследований образцов «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом на всех этапах, приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты микробиологических исследований опытных образцов
«Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом**

Table 3

The results of microbiological studies of experimental samples of "Multigrain crispbread" enriched with iodine

Показатель	Нормативное значение	Фактическое значение на сутки хранения					
		Фон (0)	36	72	144	180	216
КМАФАнМ, КОЕ/г	не более 1×10^4	Менее 10	Менее 10	2×10^2	2×10^2	Менее 10	Менее 1.5×10^2
<i>Staphylococcus aureus</i>	Не допускаются в 1 г	Не обнаружены					
БГКП	Не допускаются в 0,1 г	Не обнаружены					
Сальмонеллы	Не допускаются в 25 г	Не обнаружены					
Плесени	Не более 100 в 1 г	Менее 10					
Дрожжи	Не более 50 в 1 г	Менее 10					

Анализ табл. 3 показал, что микробиологические показатели мучных изделий находились существенно ниже нормативного значения (на два порядка) на протяжении всего периода исследований. Однако с учетом значительного снижения оценки органолептических свойств изделий в результате окислительной порчи жира принято обоснованное решение о сокращении

рекомендованного срока годности изделий до 90 сут при установленном режиме хранения в потребительской упаковке – температуре воздуха (19 ± 3) °C и относительной влажности воздуха не более 75 %.

Заключение

Были исследованы пищевая и энергетическая ценность разработанных мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом ламинарии. Установлено содержание йода в разработанных изделиях 202,3 мкг в 100 г продукта, что позволяет классифицировать разработанные изделия как обогащенные йодом. Результаты изучения сохраняемости мучных изделий позволили обосновать и предложить срок годности, составляющий 90 сут в условиях установленного режима хранения.

Список источников

1. Об утверждении Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года (вместе с «Планом мероприятий по реализации стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года»): Распоряжение Правительства Рос. Федерации № 2798-р: от 26 ноября 2019 г. // Собрание законодательства Российской Федерации. 2019. № 48. Ст. 6905.
2. Ana Pimenta-Martins, Daniela Correia, Catarina Carvalho, Carla Lopes, Ana Maria Gomes, Duarte Torres. Nutritional quality of voluntarily fortified foods with micronutrients versus non-fortified foods consumed by the Portuguese population // *Journal of Food Composition and Analysis*. 2025. Vol. 148, Part 2. 108243. ISSN 0889-1575, <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2025.108243>.
3. Hind Belarbi, Fassil Kebede, Ingrid De Leyn, Filip Van Bockstaele, Tom Van De Wiele, Fleur Lambrecht, Ismail Cakmak, Gijs Du Laing. Enhancing iodine delivery through sourdough wheat bread: influence of biofortified flour and iodized salt on iodine concentration and bioaccessibility // *Food Chemistry*. 2026. Vol. 498. Part 2. 147232. ISSN 0308-8146, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.147232>.
4. Umma Faria Rika, Mohammad Asadul Habib, Prantu Sen, Ricvan Dana Nindrea, Long Chiau Ming. Universal salt iodization remains insufficient to prevent iodine deficiency without maternal education and improved household salt practices: insights from structural equation modelling in Noakhali // *Human Nutrition & Metabolism*. 2026. Vol. 43. ISSN 2666-1497, <https://doi.org/10.1016/j.hnm.2025.200359>.
5. Aarsland, T. E., Aakre, I., Stea, T. H., Henjum, S., Markhus, M. W., Strand T.A., Dahl, L., Korevaar, T. I. M., Bakken, K. S., Sleire, S. N. Association of Mild-to-Moderate Iodine Deficiency With Thyroid Function - A Systematic Review and Meta-analysis [Text] // *Advances in Nutrition*. 2025. Vol. 16, № 9. Art. 100471. ISSN 2161-8313. DOI: 10.1016/j.advnut.2025.100471.
6. Сигова М. Р. Проблема йододефицита у населения в северных регионах // *StudArctic Forum*. 2022. Т. 7, № 4. С. 73–81.
7. Дедов И. И., Трошина Е. А., Платонова Н. М., Маколина Н. П., Беловалова И. М., Сенюшкина Е. С., Мельниченко Г. А. Профилактика йододефицитных заболеваний: в фокусе региональные целевые программы // *Проблемы эндокринологии*. 2022. Т. 68, № 3. С. 16–20. doi: <https://doi.org/10.14341/probl13119>.
8. Савкина, К. Н. Проблема йододефицита в питании современного человека: обзор современных подходов к ее решению / К. Н. Савкина, Ю. В. Шокина // *Известия высших учебных заведений. Арктический регион*. 2022. № 1. С. 63–73.
9. Щукин В. М., Хорольская Е. А., Кузьмина Н. Е., Ремезова И. П., Косенко В. В. Особенности элементного состава ламинарии слоевищ (*Laminariae thalli*) различного происхожде-

ния // Ведомости Научного центра экспертизы средств медицинского применения. Регуляторные исследования и экспертиза лекарственных средств. 2023;13(2):154-172. <https://doi.org/10.30895/1991-2919-2023-527>.

10. Pierrick Stévant, Cecile Bay Wirenfeldt, Janne Stangeland, David Cohen, Jens J. Sloth, Susan Løvstad Holdt, Arne Duinker. Iodine reduction and retention of nutrients and flavour-active compounds upon warm seawater treatment of the kelps *Alaria esculenta* and *Saccharina latissima*, *Algal Research*. 2025. Vol. 86. 103969. ISSN 2211-9264, <https://doi.org/10.1016/j.algal.2025.103969>.

11. Обоснование и разработка технологии продукции, обогащенной йодом ламинарии беломорской / К. Н. Савкина, Е. А. Новожилова, Н. Н. Симутина, Ю. В. Шокина // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : материалы VII Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 22 декабря 2023 года. Владивосток : Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2024. С. 126–133. DOI 10.48612/dalrybvtuz/NNTK2023-11.

12. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов : методические указания МУК 4.2.1847-04/утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 06.03.2004. М. : Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 8 с.

Сведения об авторе

К. Н. Савкина – младший научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории «Химия и технология морских биоресурсов», ассистент кафедры технологий пищевых производств, SPIN-код: 4380-6887, AuthorID: 1125632.

Information about the author

K. N. Savkina – Junior Researcher of the Research Laboratory Chemistry and Technology of Marine Bioresources, an assistant of the Department of Food Production Technologies, SPIN-code: 4380-6887, AuthorID: 1125632.

Статья поступила в редакцию 30.04.2026; одобрена после рецензирования 11.05.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 30.04.2026; approved after reviewing 11.05.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Савкина К. Н., 2026.

«Исследование пищевой ценности и сохраняемости разработанных мучных изделий «Хлебцы мультизлаковые», обогащенных йодом в составе ламинарии» [Савкина К. Н.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664.959.5

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-08

EDN: JECECA

Оптимизация технологического потока производства кормовой рыбной муки

Татьяна Ивановна Ткаченко¹, Анастасия Евгеньевна Кунякина²,
Валерий Викторович Чуприн³

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия

¹ tkachenko.ti@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-9210-2172

² kunyakinaae@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-1811-1890

³ chuprin.vv@dgtru.ru

Аннотация. Производство рыбной муки как продукта, востребованного в животноводстве и птицеводстве, является актуальным направлением, поскольку позволяет эффективно решать проблему переработки рыбных отходов, обеспечивая рациональное использование природных ресурсов. В процессе варки сырья, осуществляемой при производстве рыбной муки прессово-сушильным способом, необходимо снижать окислительные процессы, негативно влияющие на качество готового продукта. На базе ООО «Русский минтай» была проведена модернизация варочного котла, которая позволила управлять скоростью и температурой варки рыбных отходов, что в свою очередь способствовало качественному снижению кислотности в готовом продукте. В результате оптимизации технологического процесса варки увеличилась стабильность подсистем С2 и А. Как следствие, возросло численное значение целостности всего технологического потока производства кормовой рыбной муки, отражающего меру организованности и системности используемых технологий, а также целесообразность модернизации технологического оборудования.

Ключевые слова: рыбная мука, рыбные отходы, варка, варочный котел, оптимизация, кислотность, качество готовой продукции

Для цитирования: Ткаченко Т. И., Кунякина А. Е., Чуприн В. В. Оптимизация технологического потока производства кормовой рыбной муки // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 86–93.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2.
P. 86–93.

FOOD SYSTEMS

Original article

Optimization of the technological flow of fodder fish flour production

Tatyana I. Tkachenko¹, Anastasia E. Kunyakina², Valeriy V. Chuprin³

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ tkachenko.ti@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-9210-2172

² kunyakinaae@yandex.ru, ORCID: 0009-0000-1811-1890

³ chuprin.vv@dgtru.ru

Abstract. The production of fish meal, as a product in demand in animal husbandry and poultry farming, is an actual direction, as it allows to effectively solve the problem of processing fish waste, ensuring the rational use of natural resources. In the process of cooking raw materials, carried out in the production of fish meal by the pressing-drying method, it is necessary to reduce the oxidation processes that negatively affect the quality of the finished product. In order to reduce the total acidity of fish meal, which is largely dependent on the temperature of the fish waste cooking process, the Russian Pollock LLC upgraded its cooking boiler to allow for control of steam pressure, as well as the speed and temperature of cooking, which ultimately led to a significant reduction in the acidity of the final product, fish meal. As a result of optimizing the cooking process, the stability of the C2 and A subsystems increased. Consequently, the overall integrity of the technological process was improved.

Keywords: fish meal, fish waste, cooking, cooking pot, optimization, acidity, quality of finished products

For citation: Tkachenko T. I., Kunyakina A. E., Chuprin V. V. Optimization of the technological flow of fodder fish flour production. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2): 86–93. (in Russ.).

Введение

Реализуемая в настоящее время в России стратегия развития рыбохозяйственного комплекса направлена на обеспечение устойчивого роста отрасли, повышение эффективности использования водных биоресурсов и развитие экспортного потенциала [7]. Основными задачами этой стратегии являются: обеспечение продовольственной безопасности (увеличение объема производства качественной рыбной продукции для внутреннего потребления; развитие аквакультуры и увеличение доли выращиваемой рыбы в общем объеме производства); повышение конкурентоспособности (модернизация перерабатывающих мощностей и внедрение передовых технологий; поддержка экспорта рыбной продукции и расширение рынков сбыта); устойчивое использование ресурсов (рациональное использование водных биоресурсов, соблюдение квот и норм вылова; сохранение экосистем водоемов и предотвращение негативного воздействия на окружающую среду).

В свете вышеизложенного, производство рыбной муки является актуальным направлением, поскольку позволяет эффективно решать проблему переработки рыбных отходов, обеспечивая рациональное использование природных ресурсов. Этот процесс способствует уменьшению загрязнения окружающей среды, снижая нагрузку на морские экосистемы. Рыбная мука обладает высоким содержанием белка и микроэлементов, востребованных в животноводстве и птицеводстве, что повышает её экономическую значимость. Таким образом, организация экологически чистого способа переработки рыбных отходов является важным фактором устойчивого развития отрасли и сохранения природы [4, 7, 8].

При изготовлении кормовой муки важно контролировать ряд показателей, которые влияют на качество готового продукта, его питательность и безопасность: содержание белка, жира, влаги, кислотность, микробиологическую чистоту, содержание тяжелых металлов. Кислотность является одним из важных показателей рыбной муки, так как её повышение может приводить к ряду негативных последствий: отсутствие стабильности при хранении, а также снижение общей питательной ценности продукта и усвояемости питательных веществ [3, 4].

Объекты и методы исследования

Как известно, «одним из наиболее эффективных способов производства рыбной муки, при больших объемах, является прессово-сушильный способ, основными достоинствами которого являются: высокое качество продукта, минимальные потери питательных веществ и стабильность качества готового продукта» [2]. Составлена структурная схема процессов производства рыбной муки прессово-сушильным методом, которая представлена на рис. 1.

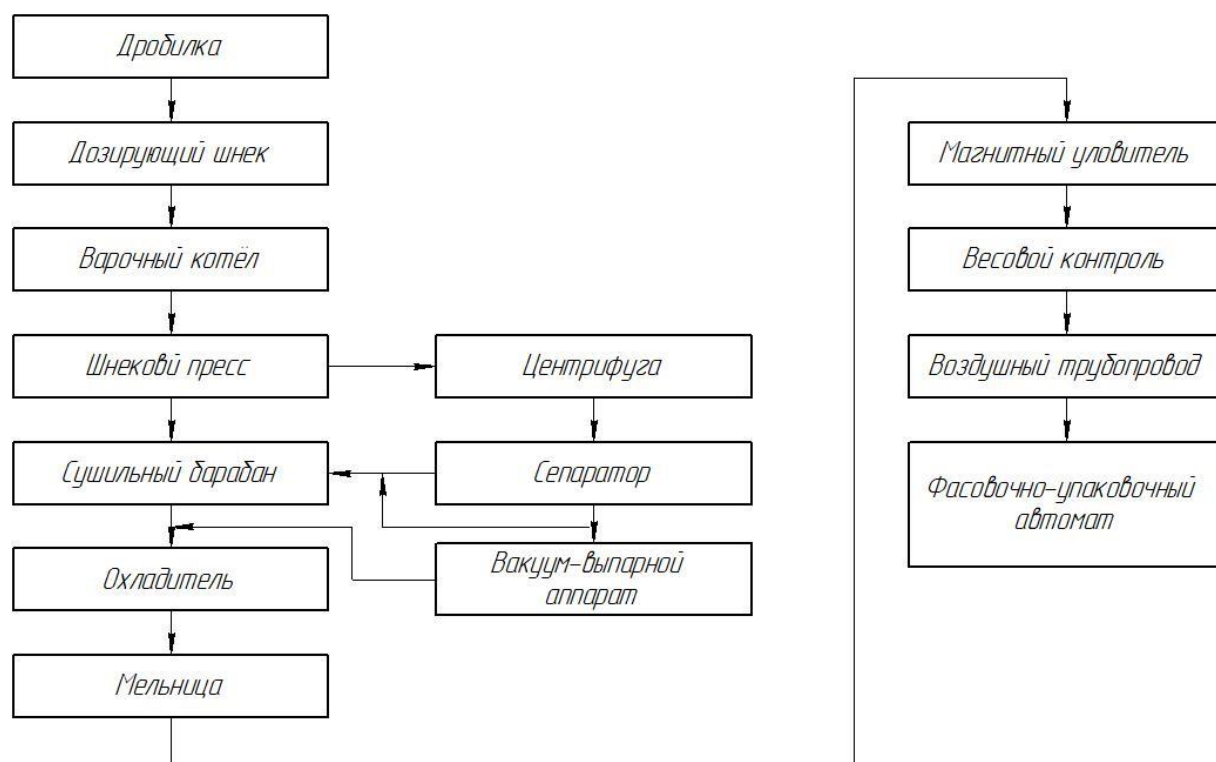


Рис. 1. Структурная схема процессов (технологического оборудования) производства рыбной муки прессово-сушильным методом. Составлено авторами

Fig. 1. Structural diagram of the processes (process equipment) for the production of fish meal by the pressing-drying method. Compiled by the authors

Основной особенностью производства кормовой рыбной муки прессово-сушильным способом является процесс варки сырья, осуществляемый при высоких температурах. Основными рисками такой термической обработки рыбного сырья являются: разрушение витаминов и биологически активных веществ; в процессе окисления могут образовываться вредные вещества (полициклические ароматические углеводороды, акриламид и гетероциклические амины).

Проведенные ранее исследования показали, что «величина общей кислотности кормовой рыбной муки зависит от температурного режима варки рыбных отходов. В связи с этим на базе ООО «Русский минтай» была проведена модернизация конструкции варочного котла, которая позволила управлять давлением пара, скоростью и температурой варки измельченного рыбного сырья» [9]. В результате анализа структурной схемы производства рыбной муки прессово-сушильным методом были составлены расчетная схема (рис. 2) и операторная модель (рис. 3) получения готового продукта. Операторные модели технологического потока производства рыбной муки до и после модернизации варочного котла не имеют принципиального отличия, ввиду того, что изменились только технологические параметры процесса варки. Вследствие этого операторная модель представлена одной схемой.

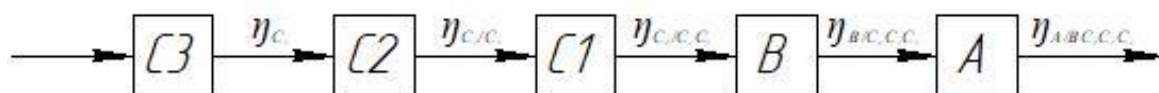


Рис. 2. Расчётная схема производства рыбной муки прессово-сушильным методом. Составлено авторами

Fig. 2. Calculation scheme for the production of fish meal by the pressing-drying method. Compiled by the authors

Рассматриваемая расчетная схема производства рыбной муки прессово-сушильным методом состоит из пяти подсистем. Для получения подробной картины проходящих процессов,

благодаря которым из исходного сырья получается готовый продукт, необходимо построить операторную модель:

А – подсистема получения очищенной кормовой рыбной муки, содержащая операторы: I – хранение; II – упаковка и маркировка.

В – подсистема получения неочищенной кормовой рыбной муки, которая соответствует заданным показателям, содержащая операторы: I – просеивание от мелкого не металлического мусора; II – охлаждение; III – измельчение, очистка от металлических изделий; IV – сушка, внесение антиокислителя.

С₁ – подсистема получения прессованного жома, содержащая оператор: I – прессование.

С₂ – подсистема получения разваренной рыбной массы, содержащая оператор: I – разваривание.

С₃ – подсистема получения измельченных рыбных отходов, содержащая операторы: I – дозирование; II – дробление; III – приём сырья.

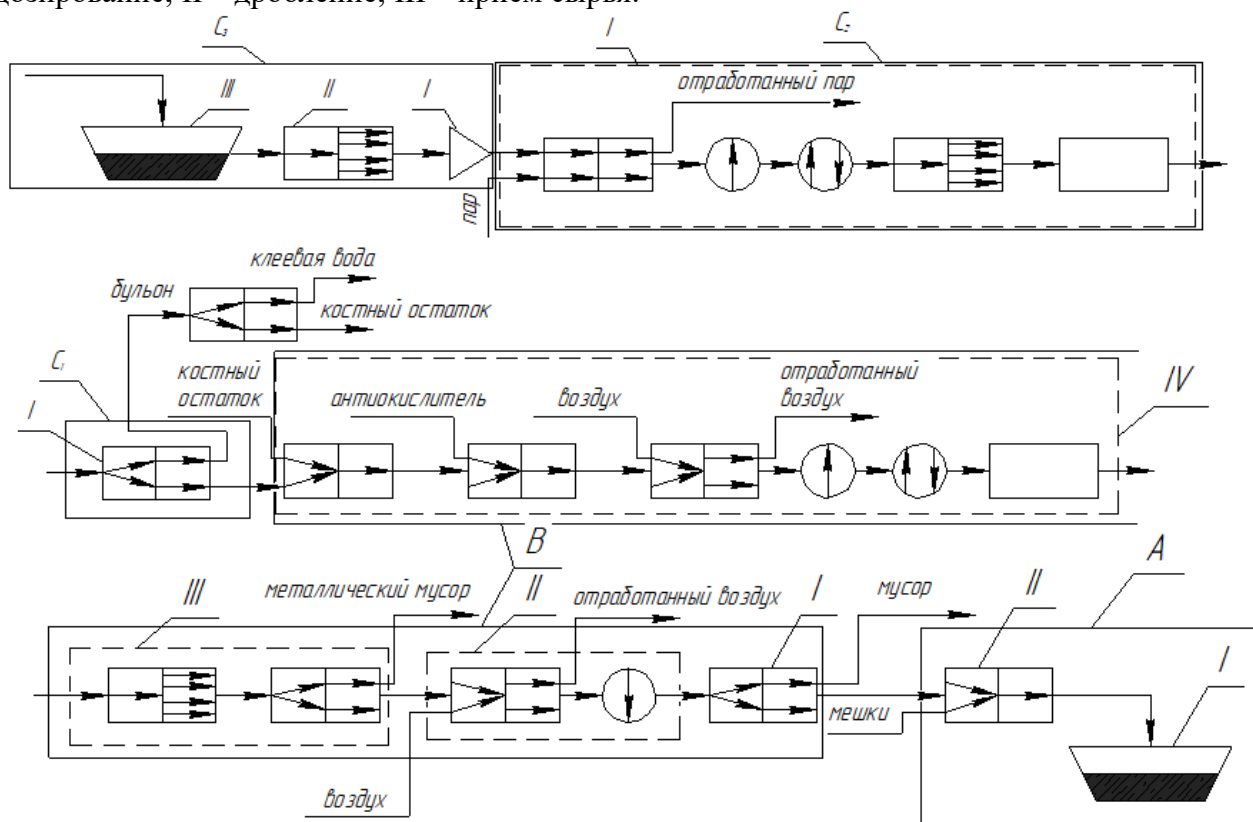


Рис. 3. Операторная модель линии производства рыбной муки прессово-сушильным методом.

Составлено авторами

Fig. 3. Operator model of a fish meal by the pressing-drying method. Compiled by the authors

Для анализа целесообразности проведенной модернизации варочного котла необходимо рассчитать численное значение уровня целостности технологического потока. Оценка уровня целостности технологической линии производства рыбной муки прессово-сушильным способом зависит непосредственно от состояния всех её составляющих подсистем. Анализируя «степень соответствия фактических показателей установленным нормам, можно определить уровень целостности всей производственной системы. При этом стабильность каждой подсистемы определяют экспериментально за определенный период» [5]. Для определения уровня целостности технологического потока производился отбор проб на выходе каждой из подсистем (каждой стадии производства) в течение одной смены (12 ч). Все параметры технологического процесса, параметры исходного сырья и готовой продукции соответствовали установленным нормативным документам [1].

Уровень целостности производственной системы за одну смену можно рассчитать по формуле [5]

$$\theta_{C_3C_2C_1BA} = \eta_{C_3} + \eta_{C_3/C_2} + \eta_{C_3/C_1C_2} + \eta_{B/C_1C_2C_3} + \eta_{A/BC_1C_2C_3} - 4, \quad (1)$$

где η_{C_3} , η_{C_3/C_2} , η_{C_3/C_1C_2} , η_{C_3} , $\eta_{B/C_1C_2C_3}$, $\eta_{A/BC_1C_2C_3}$ – стабильность соответственно: подсистемы C_3 ; C_3 относительно C_2 ; подсистемы В относительно C_1 , C_2 и C_3 ; подсистемы А относительно В, C_1 , C_2 , и C_3 .

Энтропия, соответствующая распределению значений величины показателя качества промежуточного продукта, для случая с двумя возможными результатами рассчитывается по формуле

$$H = -P \cdot \log_2 P - (1-P) \cdot \log_2 (1-P). \quad (2)$$

$$\theta_{C_3C_2C_1BA} = 0,7577 + 0,7577 + 0,6725 + 0,7136 + 0,8313 - 4 = -0,2672.$$

Таблица 1

Контролируемые параметры целостности подсистем технологического потока производства рыбной муки прессово-сушильным методом

Table 1

Controlled parameters of the integrity of the subsystems of the technological flow of fish meal production by the pressing-drying method

Подсистема	Выход подсистемы	Контролируемый параметр	Нормативное значение [1]	Поле допуска [1]
А	Готовая продукция	Кислотное число жира	Не более 55 мг КОН на 1 г	+/-0,4
В	Мука неочищенная	Степень загрязненности. Металломагнитная примесь размером не более 2 мм, по ГОСТ 7636	100,0 мг/кг,	Не более указанного значения
C_1	Жом прессованный	Массовая доля влаги	92–95 %	+/-5 %
C_2	Разваренная масса	Температура в измельченной массе	88–92 °C	Не более 95 °C
C_3	Измельченные рыбные отходы	Размеры кусков, подаваемые с производства	От 5 до 35 мм	Не более 70 мм

Как видно из табл. 1, основным контролируемым параметром готовой продукции (подсистема А) является кислотное число: повышение этого показателя указывает на процессы окисления жиров и белков, а следовательно, на снижение пищевой ценности муки. Кроме того, при повышении кислотности снижается содержание незаменимых аминокислот, витаминов и минералов, что ведет к потере питательных веществ готового продукта. Окислительные процессы также приводят к образованию перекисей липидов и свободных радикалов, которые являются токсичными веществами. Контролируемый параметр окончательного полуфабриката (подсистемы В) – степень загрязненности кормовой муки примесями. Примеси в рыбной муке могут содержать токсичные вещества и тяжелые металлы, негативно влияющие на качество готового продукта. Основными контролируемыми параметрами промежуточного полуфабриката (подсистемы C_3 , C_2 , C_1) являются, соответственно, размеры кусков рыбных отходов, подаваемых в варильник (при подаче больших кусков увеличивается их время нагрева, что увеличивает время процесса варки, повышает энергозатраты и ухудшает экстракцию ценных питательных веществ); температурный режим варки измельченных рыбных отходов (необходи-

мая температура позволяет эффективно выделить жировые компоненты, а также при избыточной температуре образуется излишне сухая масса, трудно поддающаяся переработке) и массовая доля влаги в рыбном жоме (высокое содержание влаги создает благоприятные условия для развития патогенных микроорганизмов, плесени и грибов, что существенно ухудшает санитарно-эпидемиологическое состояние продукта, а также высокая влажность снижает пищевую ценность продукта, так как содержание влаги обратно пропорционально концентрации сухих веществ, таких как белок, минеральные соли и аминокислоты).

Таблица 2

Результаты расчетов стабильности функционирования подсистем технологического потока производства рыбной муки прессово-сушильным методом за одну смену (12 ч) до модернизации варочного котла

Table 2

Results of calculations of the stability of the functioning of the subsystems of the technological flow of the production of fish meal by the pressing-drying method, for one shift (12 hours) before the modernization of the cooking boiler

Подсистема	Объем выборки	Число проб в пределах допуска, шт.	Число проб за пределом допуска, шт.	Pi	1- Pi	- Pi·log2 Pi	-(1- Pi)log2(1- Pi)	Hi, бит	ηi
A	80	69	11	0,86	0,140	0,187129	0,39711	0,584239	0,15761
B	80	76	4	0,95	0,050	0,070301	0,21610	0,286400	0,71360
C ₁	80	75	5	0,94	0,0625	0,086615	0,2500	0,327500	0,67250
C ₂	80	62	18	0,78	0,220	0,279594	0,48057	0,760168	0,23983
C ₃	80	77	3	0,96	0,0375	0,052380	0,17764	0,242300	0,75770

Подставляя значения из табл. 2 в уравнение (1), получаем

$$\theta_{C_3C_2C_1BA} = 0,7577 + 0,23983 + 0,6725 + 0,7136 + 0,15761 - 4 = -1,45876.$$

Таблица 3

Результаты расчетов стабильности функционирования подсистем технологического потока производства рыбной муки прессово-сушильным методом за одну смену (12 ч) после модернизации варочного котла

Table 3

Results of calculations of the stability of the functioning of the subsystems of the technological flow of the production of fish meal by the pressing-drying method, for one shift (12 hours) after the modernization of the cooking boiler

Подсистема	Объем выборки	Число проб в пределах допуска, шт.	Число проб за пределом допуска, шт.	Pi	1- Pi	- Pi·log2 Pi	-(1- Pi)log2(1- Pi)	Hi, бит	ηi
A	80	78	2	0,98	0,025	0,035613	0,133048	0,1687	0,8313
B	80	76	4	0,95	0,050	0,070301	0,216096	0,2864	0,7136
C ₁	80	75	5	0,94	0,0625	0,086615	0,250000	0,3275	0,6725
C ₂	80	77	3	0,96	0,0375	0,052380	0,177636	0,2423	0,7577
C ₃	80	77	3	0,96	0,0375	0,052380	0,177636	0,2423	0,7577

Подставляя значения из табл. 3 в уравнение (1), получаем

$$\theta_{C_3C_2C_1BA} = 0,7577 + 0,7577 + 0,6725 + 0,7136 + 0,8313 - 4 = -0,2672.$$

Анализируя полученные данные, можно сказать, что в технологической системе производства рыбной муки прессово-сушильным методом наибольшее значение в изменении (понижении) уровня целостности имеют подсистемы C_2 и A , для которых стабильность в течение смены составила, соответственно, 0,239 и 0,158 (до модернизации варочного котла); 0,758 и 0,831 (после модернизации варочного котла).

Заключение

Исследование технологических потоков производства рыбной муки прессово-сушильным методом (до и после модернизации варочного котла) как систем позволило оценить уровень их целостности в течение одной смены. Полученные расчетные данные позволили сделать вывод: изменения конструкции варочного котла дали возможность оптимизировать технологические параметры процесса варки, а следовательно – увеличить стабильность подсистем C_2 и A . Уровень целостности технологического потока производства кормовой рыбной муки, фактором которого является стабильность работы линии, вырос после модернизации варочного котла, о чем свидетельствуют полученные расчеты уровней целостности отдельных подсистем. Это в свою очередь подтверждает значимость и целесообразность проведенной модернизации технологического оборудования – варочного котла.

Список источников

1. ГОСТ Р 59296-2021. Мука кормовая животного происхождения для производства кормов для непродуктивных животных. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2021. 23 с.
2. Курочкин, А. А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств : учебник / А. А. Курочкин, В. М. Зимняков. М. : Колосс, 2006. 320 с.
3. Куликов П. И. Производство муки, жира и белково-витаминных препаратов в рыбной промышленности. М. : Пищ. пром-сть, 1991. 341 с.
4. Лагунов Л. Л. Развитие производства кормовых продуктов из рыбы и рыбных отходов. М. : Пищепромиздат, 1994. 112 с.
5. Панфилов В. А. Теория технологического потока. М. : КолосС, 2007. 319 с.
6. Совершенствование технологического потока линии производства инстантированного киселя / К. Б. Плотников [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 1. С. 96–105.
7. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года: Распоряжение от 8 сентября 2022 г. № 2567-р, Правительство Российской Федерации.
8. Технологические проблемы развития производства кормовых продуктов из гидробионтов / В. Н. Акулин, Ю. П. Никулин, Б. И. Покровский, А. П. Ярочкин // Рыбное хозяйство. 2014. № 1. С. 113–116.
9. Чуприн В. В. Разработка варочной машины на ООО «Русский минтай» // Комплексные исследования в рыбохозяйственной отрасли : материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, 24 ноября 2023 г. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2024. С. 251–255.

Сведения об авторах

Т. И. Ткаченко – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», SPIN-код: 5932-9472, AuthorID: 214372.

А. Е. Кунякина – аспирант кафедры «Технологические машины и оборудование», SPIN-код: 8531-8012, AuthorID: 1240838.

В. В. Чуприн – доцент кафедры «Технологические машины и оборудование».

Information about the authors

T. I. Tkachenko – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 5932-9472, AuthorID: 214372.

A. E. Kunyakina – Postgraduate student of the Department of Technological Machines and Equipment, SPIN-code: 8531-8012, AuthorID: 1240838.

V. V. Chuprin – Associate Professor of the Department of Technological Machines and Equipment.

Статья поступила в редакцию 11.03.2026; одобрена после рецензирования 24.04.2026; принята к публикации 12.05.2026.

The article was submitted 11.03.2026; approved after reviewing 24.04.2026; accepted for publication 12.05.2026.

© Ткаченко Т. И., Кунякина А. Е., Чуприн В. В., 2026.

«Оптимизация технологического потока производства кормовой рыбной муки» [Ткаченко Т. И., Кунякина А. Е., Чуприн В. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья

УДК 664.953:339.1

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-09

EDN: LIBANI

Оценка ожиданий потребителей в расширении ассортимента роллов и суши

Иван Валерьевич Цибизов¹, Светлана Васильевна Золотокопова²

Астраханский государственный технический университет, Астрахань, Россия

¹ mslp-astu@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-8559-1307

² s.zolotokopova@astu.ru, ORCID: 0000-0002-2146-5443

Аннотация. Проведено изучение потребительских предпочтений в отношении роллов и суши, предлагаемых предприятиями общественного питания на рынке Астраханской области и в Российской Федерации, в части расширения их ассортимента и повышения пищевой ценности. Установлено, что наиболее активными потребителями данной продукции являются лица в возрасте от 18 до 24 лет (33 %), на втором месте – потребители в возрасте от 25 до 44 лет (29 %). Поэтому мнения данных групп населения, интересующихся японской кухней и включающих роллы и суши в свой рацион питания, являются ключевыми для изучения возможности расширения ассортимента данной продукции. Проведено изучение периодичности включения роллов и суши в виде перекуса в рацион питания опрашиваемых и установлено, что у 65 % частота приобретения роллов и суши еженедельная, у 27 % опрошенных – от двух до четырех раз в месяц, у остальных включение в рацион роллов и суши – до 2 раз в три месяца. Исследования показали, что актуальным является расширение ассортимента запеченных и фирменных роллов, пользующихся спросом у 43 и 35 % опрашиваемых. Установлено, что предпочтения потребителей зависят от мест производства и продажи роллов и суши, что необходимо учитывать при проведении исследований по расширению ассортимента данной продукции. По органолептическим показателям качества приоритетными показателями являются вкус (89 %) и целостность продукта (78 %), к менее значимым показателям респондентами отнесен запах (34 %), который нивелируется применяемыми в технологии роллов и суши соусами.

Ключевые слова: роллы и суши, маркетинговые исследования, анкетирование, органолептические показатели качества

Для цитирования: Цибизов И. В., Золотокопова С. В. Оценка ожиданий потребителей в расширении ассортимента роллов и суши // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 94–101.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 94–101.

FOOD SYSTEMS

Original article

Assessing consumer expectations for expanding the range of rolls and sushi

Ivan V. Tsibizov¹, Svetlana V. Zolotokopova²

Astrakhan State Technical University, Astrakhan, Russia

¹ mslp-astu@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-8559-1307

² s.zolotokopova@astu.ru, ORCID: 0000-0002-2146-5443

Abstract. A study of consumer preferences for rolls and sushi offered by catering establishments in the Astrakhan Region and throughout the Russian Federation was conducted, with the aim of expanding their product range and improving their nutritional value. It was found that the most active consumers of these products are individuals aged 18 to 24 (33%), followed by those aged 25 to 44 (29%). Therefore, the opinions of these population groups, who are interested in Japanese cuisine and include rolls and sushi in their diets, are key to studying the possibility of expanding the range of these products. A study of the frequency of including rolls and sushi as a snack in the respondents' diets was conducted, and it was found that 65% of respondents purchased rolls and sushi weekly, 27% purchased them two to four times a month, and the remainder included rolls and sushi in their diets up to twice every three months. Research has shown that expanding the range of baked and signature rolls is relevant, with 43 and 35 % of respondents favoring them. Consumer preferences are determined by the location of roll and sushi production and sales, which must be taken into account when conducting research on expanding the product range. Regarding organoleptic quality indicators, taste (89 %) and product integrity (78 %) are the top priorities. Respondents rated smell (34 %) as less important, but this is offset by the sauces used in roll and sushi production.

Keywords: rolls and sushi, marketing research, surveys, organoleptic quality indicators

For citation: Tsibizov I. V., Zolotokopova S. V. Assessing consumer expectations for expanding the range of rolls and sushi. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):94–101. (In Russ.).

Введение

В современном мире ожидания населения Российской Федерации в отношении рынка продуктов питания и пищевое поведение ориентированы на правильное питание, которое сбалансировано по содержанию макро- и микронутриентов, эссенциальных питательных веществ [1]. Предприятия общественного питания предлагают широкий ассортимент блюд, в том числе относящихся к группе фаст-фуда. Кроме европейской, кавказской и традиционной кухни России на рынке услуг присутствует японская, пользующая не меньшим спросом, чем остальные. Блюда японкой кухни расцениваются потребителями как сбалансированный и полезный перекус, приготовленный из сырья высокого качества и при приготовлении которого максимально сохраняются питательные вещества [2, 3].

Практически в каждом кафе и ресторане, сети фаст-фуда предлагают потребителю широкий выбор роллов и суши, технологии которых не отличаются значительной сложностью, но требуют особого внимания к компонентам. Привлекательность роллов и суши для потребителя обусловлена широким выбором ассортимента, сочетанием растительного и животного белка, особенно рыбного, значительным числом точек продаж, предлагающих данный вид продукции, качеством, ценовой политикой, как правило, предлагающих скидки, бонусы, подарочные сертификаты и т.д. [4].

Большое влияние на привлекательность данной продукции, особенно у молодых потребителей, оказывают применяемые производителями маркетинговые инструменты. Самые активные потребители роллов и суши – это подростки и молодые люди, которыми выбор продукта определяется не визуальным восприятием, а соответствием молодежным трендам [5]. Ранее нами были проведены исследования, направленные на изучение потребительских предпочтений населения Астраханского региона по отношению к блюдам японской и паназиатской кухни [6]. Роллы и суши привлекают потребителей использованием в их рецептурах риса, рыбных и нерыбных компонентов, овощей, что отвечает принципам правильного пищевого поведения. В качестве рыбного компонента потребитель видит филе лососевых рыб, что оказывает значительное влияние на стоимость роллов и суши.

Исследования в направлении замены лососевых рыб другими видами рыбного сырья, такими как атлантическая сельдь, толстолобик и карп проводились учеными [7, 8, 9, 10]. На наш взгляд, использование учеными в составе роллов и суши атлантической сельди и карпа не дает возможность сохранить внешний вид таким, как его привыкли видеть потребители. Поэтому остается востребованным поиск новых технологических подходов по замене лососевых рыб на альтернативные источники рыбного белка при сохранении привычных потребительских свойств.

Несмотря на то, что традиционная технология приготовления роллов и суши предусматривает использование средне- и круглозерного шлифованного риса, отличающегося высоким содержанием крахмала, могут быть рассмотрены другие виды риса. Одним из направлений повышения пищевой ценности роллов и суши могут быть использованы нешлифованные бурый и черный рис, которые сохраняют отрубевую оболочку, содержащую значительное количество пищевых волокон. В то же время для повышения клейкости и способности роллов и суши держать форму необходимы новые технологические подходы.

В связи с этим изучение потребительских предпочтений в отношении роллов и суши, предлагаемых предприятиями общественного питания на рынке Астраханской области и в Российской Федерации в части расширения их ассортимента и повышения пищевой ценности, остается актуальным. Таким образом, целью проводимых исследований является оценка ожиданий потребителей в расширении ассортимента роллов и суши. Задачи исследования: сегментация аудитории по возрасту, составление анкеты для проведения опроса и его проведение, анализ полученных данных.

Объекты и методы исследования

Анализ потребительских предпочтений респондентов проводился нами в несколько этапов с использованием методов маркетинговых исследований [11, 12]. На первом этапе проводимых исследований определены рыночные сегменты. Далее разрабатывали опросный лист – анкету, основные вопросы которой были связаны непосредственно с ассортиментом роллов и суши на предприятиях общественного питания, их классификации по способам тепловой обработки: холодные, запеченные, темпура. Значительная часть вопросов была посвящена ингредиентам, используемым при изготовлении роллов и суши. Таким образом, анкета для потребителей включала следующие разделы: частота приобретения, отношение к ассортименту, качеству, цене, фактору выбора, предпочтению вида продукции. После проведения опроса анализировали полученные результаты.

Опрос был проведен на основе онлайн заполнения анкеты представителями целевых групп в сети Интернет, в том числе через приложение сети ресторанов «Mybox», а также в формате офлайн в точках продаж г. Астрахань. В опросе приняли участие 415 человек разного социального положения и возраста. Данные, собранные во время опроса, обрабатывались стандартными методами статистической обработки результатов исследований с помощью прикладных программ «Microsoft Office – 2016» (MS Word, MS Excel).

Результаты и их обсуждение

Для понимания возможности расширения ассортимента роллов и суши, производство которых планируется ориентировать на расширение целевой аудитории и привлечения более взрослого поколения, было изучено сегментирование рынка роллов и суши по демографическим признакам: полу и возрасту. Опрашиваемые относились к разным возрастным группам в возрасте от 13 до 85 лет, что представлено на рис. 1.

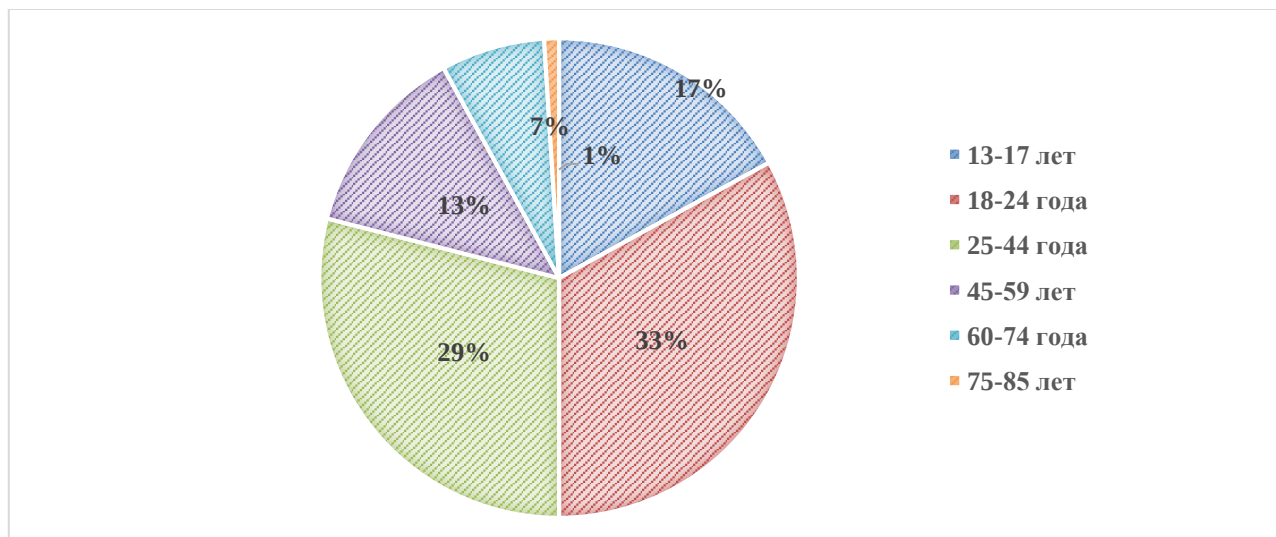


Рис. 1. Сегментирование опрошенных по возрасту. Составлено авторами
Fig. 1. Segmentation of respondents by age. Compiled by the authors

Проведенный нами анализ возраста покупателей роллов и суши различных возрастных групп показал (рис. 1), что больше всего опрошенных из группы молодых людей в возрасте от 18 до 24 лет и от 25 до 44 лет. Меньше всего опрошенных по сравнению с наиболее массовыми покупателями относятся к группе потребителей в возрасте от 45 до 59 лет и от 13 до 17 лет. Их было меньше на 60 и 50 % соответственно. Несмотря на то, что для потребителей в возрасте от 45 до 59 лет данный вид продукции не является необходимым для включения в рацион питания в качестве быстрого перекуса, их мнение будет учитываться, так как они входят в группу потенциальных потребителей, дети и внуки которых потребляют роллы и суши.

Лица старше 60 лет (рис. 1) приняли участие в онлайн и офлайн опросах в незначительных количествах, что обусловлено особенностью предлагаемого ассортимента продукции японской кухни, для которых она является незнакомой. Таким образом, наиболее активными потребителями данной продукции являются лица в возрасте от 18 до 24 лет, на втором месте – потребители в возрасте от 25 до 44 лет. Поэтому мнения данных групп населения, интересующихся японской кухней и включающих роллы и суши в свой рацион питания, являются ключевыми для изучения возможности расширения ассортимента данной продукции. Не менее важным фактором, привлекающим потребителей к этой группе продукции, является желание употреблять данный вид, поэтому группы от 60 до 75 лет и старше будут исключены при изучении результатов опроса.

Нами проведено изучение периодичности включения роллов и суши в виде перекуса. Проведенный опрос показал, что большинство респондентов (65 %) приобретают продукцию японской кухни, в том числе роллы и суши, каждую неделю, в то время как 27 % опрошенных делает это от двух до четырех раз в месяц. Остальные респонденты приобретают роллы и суши еще реже: от одного до двух раз в три месяца. Тем не менее значительная часть участников опроса считает, что роллы и суши могут быть включены в рацион питания для быстрого перекуса еженедельно.

Изучение ассортимента роллов и суши показало, что при производстве роллов используются различные компоненты и способы их термической обработки. Поэтому были изучены предпочтения потребителей в отношении различных видов роллов и суши (рис. 2).

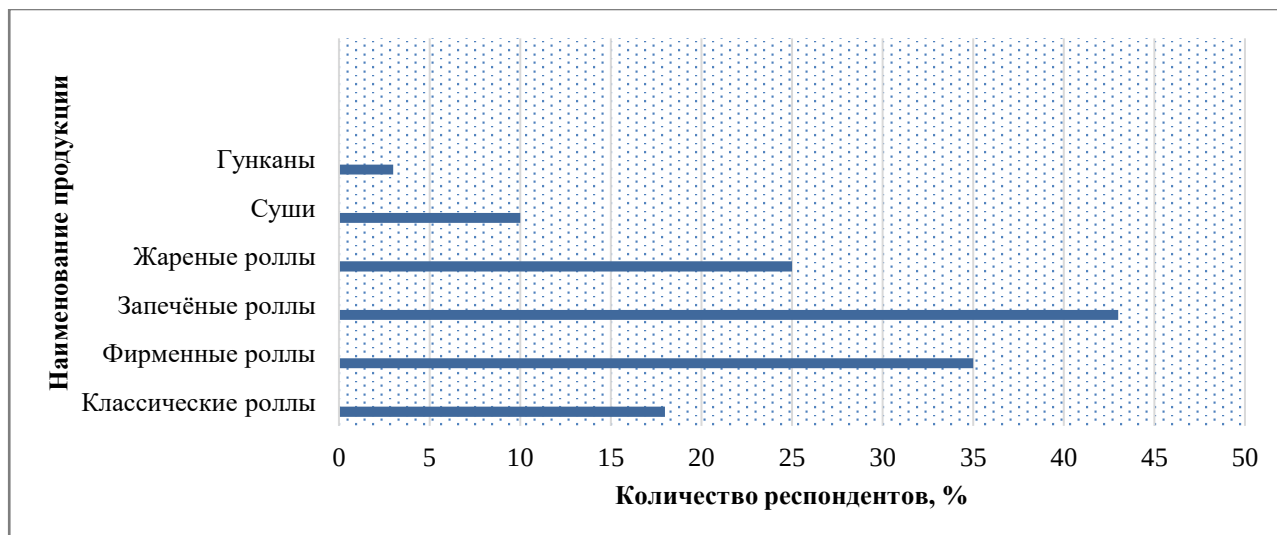


Рис. 2. Предпочтения потребителей в отношении различных видов роллов и суши.

Составлено авторами

Fig. 2. Consumer preferences for different types of rolls and sushi. Compiled by the authors

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод (рис. 2), что у потребителей наибольшей популярностью пользуются роллы, чем суши и гунканы, которые покупаются на 77 и 93 % соответственно меньше. Представленные данные по видам роллов показывают (рис. 2), что запеченные роллы покупаются чаще. Фирменные и классические роллы покупают на 20 и 40 % меньше потребителей соответственно. Жареные роллы востребованы у потребителей на 42 % меньше по сравнению с запеченными. Таким образом, является рациональным расширение ассортимента не только запеченных роллов, как наиболее востребованных потребителями, но и фирменных, несмотря на то, что они пользуются меньшим спросом.

По результатам опроса установлены предпочтения потребителей по предприятиям общественного питания г. Астрахани, которые специализируются на приготовлении роллов и суши (рис. 3).

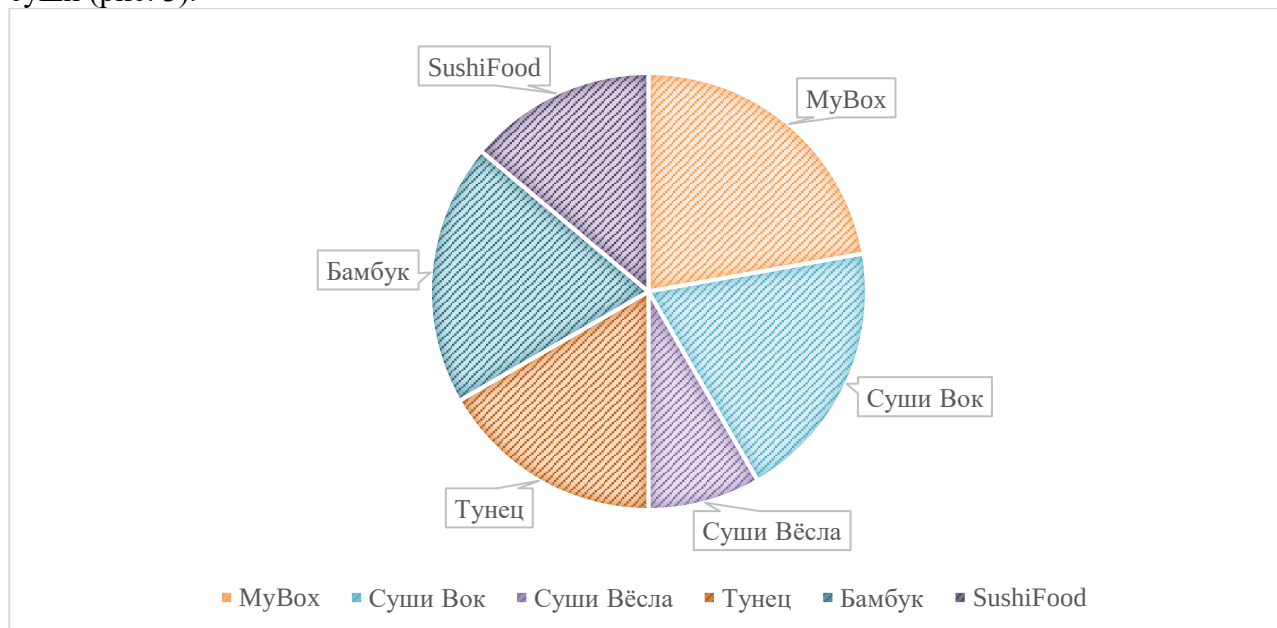


Рис. 3. Предпочтения потребителей по предприятиям общественного питания г. Астрахани, специализирующихся на приготовлении роллов и суши. Составлено авторами

Fig. 3. Consumer preferences for public catering establishments in Astrakhan that specialize in making rolls and sushi. Compiled by the authors

После проведения анализа предпочтений потребителей по предприятиям общественного

питания г. Астрахани, специализирующихся на приготовлении роллов и суши, установлено (рис. 3), что более трети приобретают роллы и суши в сети быстрого питания «МуВох», «СушиВок», «Бамбук», причем «МуВох» отдается предпочтение. Менее популярны у потребителей «SushiFood» и «Тунец», а «Суши Весла» практически не пользуются спросом у потребителей. Таким образом, предпочтения потребителей зависят еще и от мест производства и продажи роллов и суши, что необходимо учитывать при проведении исследований по расширению ассортимента данной продукции. На основании отношения потребления роллов и суши, необходимость расширения ассортимента которых установлена нами в процессе опроса, проведены исследования по поиску наиболее значимых показателей, которые привлекают внимание потребителей при ее выборе (таблица).

Результаты исследования потребительских предпочтений в отношении роллов и суши

Results of a study on consumer preferences for rolls and sushi

Наименование предпочтений	Значение показателя, %					
	Среди всех	Возрастная группа			Пол	
		18–24 года	25–44 года	45–59 лет	мужской	женский
Свойства пищевой продукции						
Привлекательность внешнего вида	37	45	39	28	35	42
Целостность продукта	40	35	40	45	28	35
Вкус и запах	20	20	11	27	37	23
Отношение потребителей к расширению ассортимента роллов и суши						
Позитивное	78	80	82	88	70	88
Отрицательное	3	3	6	2	5	2
Нейтральное	19	17	12	10	25	10

Анализ потребительских предпочтений в отношении роллов и суши показал (таблица), что к наиболее важным критериям при их выборе относятся привлекательность внешнего вида и целостность продукта, а вкус и запах не играет особой роли. Такое мнение выразили опрашиваемые возрастной категории от 18 до 24 лет и от 25 до 44 лет. Для опрашиваемых в возрасте от 45–59 лет наиболее важным показателем при выборе роллов и суши является целостность продукта, а привлекательность внешнего вида, вкус и запах являются равнозначными. Результаты исследования потребительских предпочтений в отношении роллов и суши по гендерному признаку также показали (таблица), что для женщин привлекательность внешнего вида является приоритетным, в отличие от мужчин, для которых привлекательность внешнего вида, вкус и запах являются равнозначными критериями, по которым они определяются с выбором продукта.

При оценке возможности расширения ассортимента роллов и суши установлено (таблица), что значительное большинство опрашиваемых готовы к расширению ассортимента, что, по-видимому, связано со значительным числом предприятий общественного питания, предлагающих данный вид продукции, которая может быть отнесена к группе классического ассортимента. Свое отрицательное отношение к расширению ассортимента выразила незначительная доля опрашиваемых, а число потребителей, относящихся нейтрально к расширению ассортимента, ниже в среднем в 4,2 раза по отношению к желающим нового вида продукции.

Качество роллов и суши для потребителей ассоциируется с такими органолептическими показателями, как внешний вид, целостность продукта, консистенция, запах и вкус. Поэтому нами были изучены предпочтения потребителей при выборе роллов и суши по этим показателям качества (рис. 4).

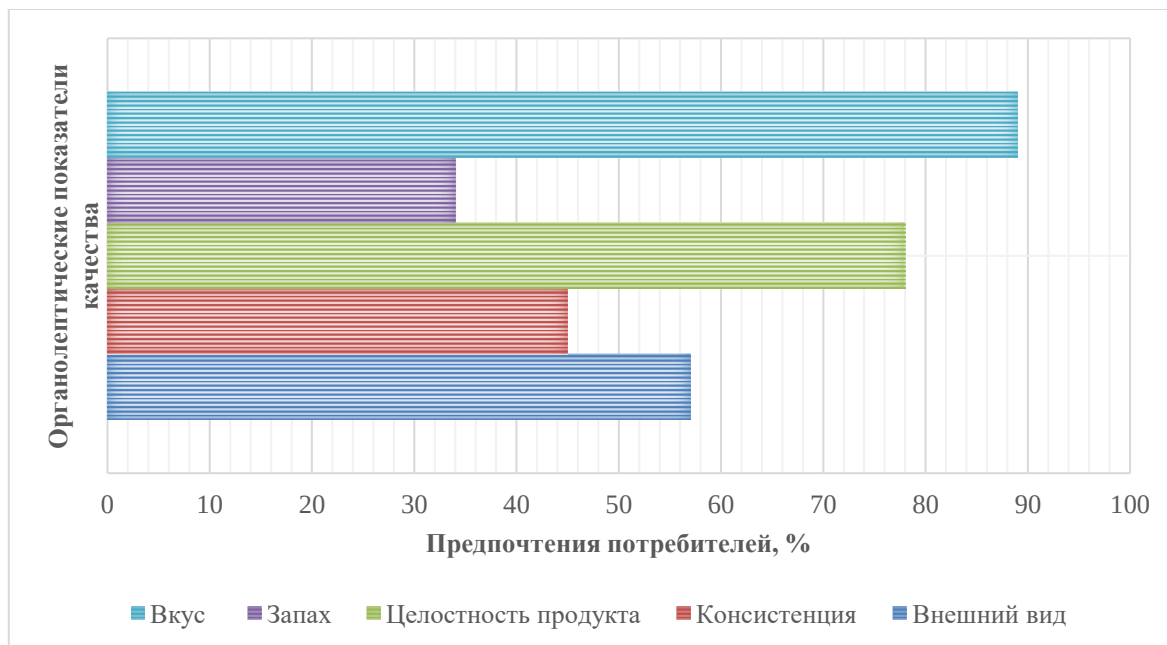


Рис. 4. Предпочтение респондентов в части органолептических показателей качества роллов и суши. Составлено авторами

Fig. 4. Respondents' preferences for the organoleptic quality indicators of rolls and sushi. Compiled by the authors

Согласно полученным данным (рис. 4) при выборе роллов и суши 89 % потребителей прежде всего интересуется вкусом и 78 % – целостность продукта. Запах не является показателем, из-за которого потребитель может отказаться от выбора данной продукции, так как предпочтение этому показателю было отдано 34 % опрошенных. Внешний вид и консистенция являются важными показателями качества роллов и суши у половины опрошенных – в среднем у 50 % опрошенных. Таким образом, у потребителей при выборе видов роллов и суши органолептическая оценка является необходимой, которую важно учитывать при расширении ассортимента.

Заключение

Таким образом, проведенные нами исследования потребительских предпочтений в отношении роллов и суши, которые представлены достаточно широко предприятиями общественного питания, показывают, что основные потребители данной продукции – это молодые люди в возрасте от 18 до 24 лет и от 25 до 44 лет. Для более старшего поколения данная продукция не является необходимой в рационе питания и расценивается ими как незнакомая. Но мнение группы потребителей в возрасте от 45 до 59 лет необходимо учитывать, так как они являются потенциальными потребителями и приобретают эту продукцию по желанию детей и внуков.

По результатам предпочтений потребителей в отношении видов роллов и суши установлено, что наибольшей популярностью у потребителей пользуются запеченные и фирменные роллы, поэтому является рациональным проведение исследований по расширению их ассортимента в направлении повышения пищевой ценности.

По результатам проведенных исследований установлено, что расширение ассортимента роллов должно учитывать предпочтения потребителей в отношении таких органолептических показателей качества, как целостность продукта, привлекательность внешнего вида, вкус. Запах роллов не относится к критически важному показателю, тем более он, как правило, нивелируется применяемыми в технологии роллов соусами.

Список источников

1. Аликперова Н. В. Поведение потребителей: современные реалии и глобальные тренды // Гуманитарные науки. Вестник финансового университета. 2019. № 4. С. 46–51.

2. Сидзуо, Цудзи. Японская кухня. Изысканная простота. ВВРГ, 2010. 10 с.
3. Красичкова А. Г. Японская кухня. М. : Вече, 2007. 501 с.
4. Гумеров, Т. Ю. Влияние растительных ингредиентов на биологическую и энергетическую ценность в технологии приготовления ролл / Т. Ю. Гумеров, О. А. Решетник // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15, № 16. С. 203–206.
5. Ильина, В. А. Распространенность японской кухни в рационе питания современной молодежи / В. А. Ильина, А. Н. Мамедова, Н. Н. Пичугина // Бюллетень медицинских интернет-конференций. 2014. Т. 4, № 11. С. 1233–1234.
6. Цибизов, И. В. Ассортимент блюд ресторанов японской и паназийской кухни на примере сети ресторанов «МУВОХ» в г. Астрахани / И. В. Цибизов, С. В. Золотокопова // Наука и практика – 2024 : материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции, Астрахань, 18–23 ноября 2024 года / Астраханский государственный технический университет. Астрахань : Изд-во АГТУ, 2025.
7. Субботина О. А. Импортотамещающие технологии производства блюд японской кухни из прудовой рыбы // Рыбное хозяйство. 2011. № 3. С. 107–111.
8. Патент РФ № 2407406 А23L 17/00. Способ приготовления суши с пресноводной рыбой / Антипова Л. В., Веретенникова Н. В., Субботина О.А. Заявл. 08.07.2009 ; опубл. 27.12.2010.
9. Патент RU 2756182 А23L 17/00 (2016.01). Способ приготовления роллов с пресноводной рыбой / Золотокопова С. В., Киричко Н. А., Киричко Р. Ю. Заявл. 19.02.2021 ; опубл. 28.09.2021, Бюл. № 28.
10. Пыленок, М. А. Исследования по созреванию филе сельди с применением различных пищевых добавок для использования в рецептурах продуктов японской кухни / М. А. Пыленок, О. Я. Мезенова // IV Международный Балтийский морской форум : материалы Международного морского форума. 2016. С. 1475–1479.
11. Павлов Н. В. Методы маркетинговых исследований : монография. СПб. : СПбГТУ, 2011. 344 с.
12. Попова Н. В., Соснова О. В. Поведение потребителей и маркетинговые коммуникации: ценностный подход // ТРАЕКТОРИЯ НАУКИ. Electronic scientific journal. 2015. № 5. С. 2.6–2.11.

Сведения об авторах

И. В. Цибизов – аспирант кафедры технологии товаров и товароведения, SPIN-код: 4458-0700.
 С. В. Золотокопова – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии товаров и товароведения, SPIN-код: 8742-7193, AuthorID: 327853.

Information about the authors

I. V. Tsibizov – Postgraduate student of the Department of Technology of Goods and Commodity Research, SPIN-code: 4458-0700.
 S. V. Zolotokopova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technology of Goods and Commodity Research, SPIN-code: 8742-7193, AuthorID: 327853.

Статья поступила в редакцию 10.04.2026; одобрена после рецензирования 20.04.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 10.04.2026; approved after reviewing 20.04.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Цибизов И. В., Золотокопова С. В., 2026.

«Оценка ожиданий потребителей в расширении ассортимента роллов и суши» [Цибизов И. В., Золотокопова С. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Высококонцентрированный рубцово-защищённый холина хлорид (60 %): разработка микрокапсулированной формы, биологическая эффективность и влияние на качество мяса бычков

Павел Алексеевич Шинкарук¹, Людмила Александровна Текутьева²

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹ shinkaruk.pa@dvfu.ru, ORCID: 0009-0001-7653-6819

² tekuteva.la@dvfu.ru, ORCID: 0000-0001-3663-1365

Аннотация. Холин является жизненно важным компонентом кормов, участвующим в синтезе фосфолипидов и регуляции липидного обмена. У жвачных животных свободный холин деградирует в рубце, что требует применения защищённых форм. Настоящая работа посвящена разработке высококонцентрированной микрокапсулированной формы холина хлорида с содержанием 60 % активного вещества и оценке её влияния на продуктивность, морфологические показатели туши и технологические свойства мяса бычков. Исследование включало подбор носителя и полимерной оболочки, оптимизацию процесса микрокапсулирования в псевдооживленном слое, определение технологических характеристик препарата и проведение производственного опыта на симментальских бычках ($n = 30$). Полученный препарат характеризовался массовой долей холина хлорида $60 \pm 1,2$ %, влажностью $4,7 \pm 0,3$ %, размером гранул 0,8–1,5 мм, устойчивостью при 85 °C (96 %) и рубцовым байпасом *in vitro* 84–88 %. В опытной группе ежедневное введение 15 г микрокапсулированного холина обеспечило повышение среднесуточного прироста, улучшение конверсии корма и увеличение убойного выхода, сопровождающееся ростом доли мышечной ткани и улучшением pH24, влагоудерживающей способности и окислительной стабильности мяса. Работа демонстрирует технологическую и биологическую эффективность отечественного препарата и его потенциал в системах промышленного откорма.

Ключевые слова: холина хлорид 60 %, микрокапсулирование, рубцовая защита, мясная продуктивность, влагоудерживающая способность, липидный обмен, псевдооживленный слой

Для цитирования: Шинкарук П. А., Текутьева Л. А. Высококонцентрированный рубцово-защищённый холина хлорид (60 %): разработка микрокапсулированной формы, биологическая эффективность и влияние на качество мяса бычков // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 102–108.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 102–108.

FOOD SYSTEMS

Original article

Highly concentrated scar-protected choline chloride (60 %): development of a microcapsulated form, biological efficacy and impact on the quality of bull meat

Pavel A. Shinkaruk¹, Lyudmila A. Tekutyeva²

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

¹ shinkaruk.pa@dvfu.ru, ORCID: 0009-0001-7653-6819

² tekuteva.la@dvfu.ru, ORCID: 0000-0001-3663-1365

Abstract. Choline is an essential feed component involved in phospholipid synthesis and the regulation of lipid metabolism. In ruminants, free choline is degraded in the rumen, necessitating protected forms. This study focuses on the development of a high-concentration microencapsulated form of choline chloride containing 60 % active substance and the evaluation of its effects on growth performance, carcass morphology, and technological properties of beef cattle. The study included selection of the carrier and polymer coating, optimization of the fluidized-bed microencapsulation process, determination of technological characteristics of the preparation, and a production trial on Simmental bulls (n=30). The resulting preparation contained 60±1.2 % choline chloride, moisture 4.7±0.3 %, granule size 0.8–1.5 mm, heat stability at 85°C (96 %), and an in vitro rumen bypass of 84–88 %. Daily administration of 15 g of microencapsulated choline increased average daily gain, improved feed conversion, and increased slaughter yield, accompanied by a greater proportion of muscle tissue and improved pH24, water holding capacity, and oxidative stability of meat. The study demonstrates the technological and biological efficiency of this domestically produced preparation and its potential for industrial feedlot systems.

Keywords: choline chloride 60 %, microencapsulation, rumen protection, meat productivity, water-holding capacity, lipid metabolism, fluidized bed

For citation: Shinkaruk P. A., Tekutyeva L. A. Highly concentrated scar-protected choline chloride (60 %): development of a microcapsulated form, biological efficacy and impact on the quality of bull meat. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):102–108. (In Russ.).

Введение

Повышение эффективности мясного скотоводства требует не только оптимизации кормовых рационов и условий содержания, но и корректировки обменных процессов на клеточном уровне. Холин (витамин В₄) играет ключевую роль в синтезе фосфатидилхолина и липопротеинов очень низкой плотности, а также служит метильным донором в реакциях трансметилирования [1]. В организме жвачных животных свободный холин подвергается глубокому разложению микроорганизмами рубца, [2] поэтому его биодоступность определяется возможностью доставки в тонкий кишечник в защищённой форме. Недостаточное поступление холина ведёт к жировой инфильтрации печени, нарушению обмена веществ, снижению приростов и ухудшению качества мясного сырья.

Рубцово-защищённые формы холина (RPC) представляют собой микрокапсулы, способные сохранять нутриент в рубце и высвобождать его в кишечнике. Однако большинство коммерческих продуктов содержит 24–30 % холина хлорида, что увеличивает долю балластных компонентов и требует больших дозировок. Актуальной задачей является разработка высококонцентрированных форм, устойчивых к технологическим воздействиям (гранулирование, хранение) и обладающих высокой степенью рубцового байпаса. Для мясного скотоводства вопрос эффективности RPC исследован слабее, чем для молочного скота; при этом ожидается, что оптимизация липидного обмена может способствовать увеличению приростов, изменению морфологической структуры туши и улучшению технологических свойств мяса.

В данной статье представлены результаты комплексных исследований, направленных на разработку высококонцентрированной рубцово-защищённой формы холина хлорида (60 %) с использованием отечественного сырья и оценку её биологической эффективности при откорме симментальских бычков. Комплексная схема исследования включала:

- выбор и обоснование носителя и материала оболочки для микрокапсулирования;
- оптимизацию процесса гранулирования в псевдоожиженном слое;
- определение технологических характеристик полученного препарата;
- производственные испытания по оценке влияния добавки на прирост, конверсию корма, убойный выход, морфологическую структуру туши и технологические свойства мяса.

Материалы и методы

Выбор и обоснование носителя и материала оболочки для микрокапсулирования осуществлялся подбором матрицы-носителя. На основе скрининга растительных и минеральных материалов оптимальными носителями для микрокапсулы с 60%-м содержанием холина хлорида отобраны гранулированные пшеничные отруби и экструдированный рис. Эти носители обладают высокой адсорбционной способностью, удовлетворяют требованиям безопасности, не слеживаются и позволяют формировать сыпучий продукт.

В качестве защитного материала оболочки для формы холина хлорида (60 %) использовали биосовместимые полимерные плёнообразователи – модифицированный крахмал (октенилсукцинат) в сочетании с желатином. Эта комбинация обеспечивает формирование упругой гидрофильной плёнки, которая защищает кристаллы холина хлорида от влаги при хранении и гранулировании, но легко растворяется в желудочно-кишечном тракте, высвобождая активное вещество.

Микрокапсулированный холина хлорид (ХХ60) получали в лабораторных условиях методом напыления растворов на носитель в псевдоожиженном слое. В качестве исходного вещества использовали 75 % водный раствор холина хлорида, поставляемый компанией Be-Long (North) Corp. В установку Mini-Glatt (Glatt GmbH) загружали заданную навеску гранулированных пшеничных отрубей; путём флюидизации горячим воздухом (40–45 °С) создавался псевдоожиженный слой. Через перистальтический насос распыляли раствор холина хлорида со скоростью ~20 мл/мин до получения требуемой массы адсорбированного препарата. На втором этапе на влажные гранулы наносили расплав желатин-крахмальной оболочки (40 % раствор с добавлением 10 % глицерина в качестве пластификатора) при температуре 50–55 °С. После нанесения покрытия гранулы сушили тёплым воздухом до остаточной влажности не более 5 %. Продолжительность всего цикла составляла 60–80 мин, выход готового продукта – 18,2 кг.

Определение технологических характеристик – массовой доли холина хлорида в препарате, влажность и размер гранул, их термостабильность, а также условный рубцовый байпас *in vitro* – производили с использованием следующих методов.

Массовая доля холина хлорида в препарате была определена с помощью метода капиллярного электрофореза на аналитической системе «Капель-105М». Гранулы предварительно были разбавлены дистиллированной водой для разделения высвобожденного холина. Далее регистрировали его концентрацию при длине волны 220 нм. Влажность гранул измеряли гравиметрическим методом: навеску 2 г сушили до постоянной массы при 105 °С. Размер гранул определяли ситовым анализом согласно ГОСТ 13496.8-72. Термостабильность оценивали нагревом навески до 85 °С в течение 10 мин с последующим анализом остаточной массы и содержания холина. Условный рубцовый байпас *in vitro* определяли методом динамической инкубации: 5 г гранул помещали в 250 мл искусственной рубцовой жидкости (рН 6,8; 39 °С), выдерживали 24 ч при постоянном перемешивании, затем отделяли гранулы, разрушали оболочку в кислой среде и анализировали остаточный холин капиллярным электрофорезом. Процент байпаса рассчитывали как отношение остаточного содержания холина к исходному.

Опыт *in vivo* проводили на 30 клинически здоровых бычках симментальской породы в возрасте 9 месяцев, принадлежащих ООО «ХАПК Грин Агро» (Приморский край). Животных распределили по принципу аналогов в две группы по 15 голов: контрольную и опытную. На начало опыта средняя живая масса составляла 223 ± 3 кг. Все бычки содержались на общей территории с доступом к чистой воде. Рацион базового откорма формировали в соответствии с нормами кормления крупного рогатого скота [11], включив 60 % кукурузного силоса, 20 % клеверно-люцернового сенажа и 20 % концентратной смеси (ячмень, пшеница, соевый шрот, минерально-витаминный премикс). Химический состав рациона обеспечивал содержание обменной энергии 10,5–11,0 МДж/кг сухого вещества и 15 % сырого протеина.

Животные опытной группы получали дополнительно 15 г микрокапсулированного холина хлорида ХХ60 в сутки (в пересчёте на 60 % активного вещества). Добавку смешивали с концентратом и скармливали индивидуально каждому бычку перед раздачей основной кормосмеси. Контрольной группе препарат не давали. В течение опыта, продолжавшегося 120

сут, ежедневно фиксировали потребление корма и остатки, ежемесячно взвешивали животных, рассчитывали среднесуточный прирост и конверсию корма как отношение сухого вещества, потреблённого на голову, к приросту живой массы.

По завершении опыта всех животных забивали на убойном пункте хозяйства. Массу парной туши и внутренних органов взвешивали для расчёта убойного выхода. Для анализа морфологического состава каждая половина туши подвергалась анатомической разборке с отделением и взвешиванием мышечной ткани, костей, внутреннего и подкожного жира. pH musculus longissimus dorsi измеряли через 24 ч после охлаждения туши с помощью портативного pH-метра (Hanna HI99163). Влагоудерживающую способность определяли методом прессования: навеску измельчённой мышечной ткани (10 г) помещали между фильтровальной бумагой и стеклянными пластинами под грузом 2 кг, через 10 мин измеряли потерю массы и рассчитывали долю связанной воды. Перекисное число липидов определяли титриметрическим методом по смеси растворителей (уксусная кислота – хлороформ) с последующим титрованием раствором тиосульфата натрия; результат выражали в ммоль активного кислорода на килограмм жира.

Результаты и их обсуждение

Технологические показатели препарата ХХ60 представлены в табл. 1. Высокая концентрация холина хлорида и узкое гранулометрическое распределение обеспечивают удобство дозирования и равномерность смешивания. Устойчивая оболочка сохраняет 96 % гранул при кратковременном нагреве до 85 °С, что подтверждает возможность применения при гранулировании комбикормов. Рубцовый байпас *in vitro* на уровне 84–88 % свидетельствует о достаточном сопротивлении микробной деградации (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика рубцово-защищенного холина хлорида 60 %

Table 1

Characteristics of rumen-protected choline chloride 60 %

Показатель	Значение
Содержание холина хлорида	60 ± 1,2 %
Влажность	≤5 %
Размер гранул	0,8–1,5 мм
Сохранность при 85 °С	96 %
Байпас рубца (<i>in vitro</i> , 24 ч)	84–88 %

Показатели продуктивности бычков приведены в табл. 2. Начальная масса животных в группах не различалась, что обеспечивает корректность сравнения. Введение ХХ60 статистически достоверно увеличивало конечную массу, среднесуточный прирост и улучшало конверсию корма.

Таблица 2

Показатели продуктивности бычков

Table 2

Productivity indicators of bulls

Показатель	Контроль	Опыт (ХХ60)	t-критерий Стьюдента, р
Начальная живая масса, кг	223 ± 3	223 ± 3	<0,05
Конечная живая масса, кг	412 ± 8	438 ± 7	<0,05
Среднесуточный прирост, г	980 ± 35	1067 ± 32	<0,05
Конверсия корма, кг СВ/кг прироста	7,8 ± 0,2	7,2 ± 0,2	<0,05
Убойный выход, %	55,2 ± 0,6	58,6 ± 0,5	<0,05

Характеристики туши и технологические свойства мяса после завершения опыта представлены в табл. 3. Данные демонстрируют улучшение морфологического состава в пользу мышечной ткани и снижение жировых отложений. Существенные изменения отмечены также по показателям рН24, влагоудерживающей способности и перекисного числа, что свидетельствует о повышенной технологической ценности мяса.

Таблица 3

Морфологический состав туш и технологические свойства мяса

Table 3

Morphological composition of carcasses and technological properties of meat

Показатель	Контроль	Опыт (XX60)
Доля мышечной ткани, %	62,3 ± 1,1	66,5 ± 0,9
Доля внутреннего жира, %	11,8 ± 0,7	9,6 ± 0,6
рН24	6,05 ± 0,04	5,72 ± 0,03
Влагоудерживающая способность, %	58,4 ± 1,3	62,0 ± 1,1
Перекисное число, ммоль/кг	3,8 ± 0,2	3,1 ± 0,2

Степень рубцового байпаса, определённая *in vitro*, составила 84–88 %, что обеспечивает высокую биодоступность холина в кишечнике. Это подтверждает безопасность применения препарата. В ходе опыта не отмечено падежа или нарушений здоровья; все животные сохраняли нормальный аппетит и физиологические реакции.

Разработанная микрокапсулированная форма холина хлорида с повышенной концентрацией активного вещества отвечает требованию эффективной защиты в рубце и сохранения функциональности при термическом воздействии. Использование гранулированных пшеничных отрубей в качестве носителя обеспечивает равномерную адсорбцию и высокую кормовую ценность, а гидрофильная плёнка на основе модифицированного крахмала и желатина обеспечивает контролируемое высвобождение в поструминальных отделах. Технологические показатели демонстрируют, что препарат выдерживает нагрев до 85 °С и сохраняет более 80 % холина после 24-часового контакта с искусственной рубцовой жидкостью, что сопоставимо или выше, чем у коммерческих продуктов (70–85 % байпаса).

Введение XX60 в дозе 15 г/сут улучшало продуктивные показатели бычков: среднесуточный прирост увеличился на 8,9 %, а конверсия корма улучшилась на 7,7 %. Аналогичные эффекты описаны в метаанализе Numer et al. (2019) [8], где рубцово-защищённый холин снижал энергозатраты на липидный обмен и повышал молочную продуктивность. В настоящем исследовании получены данные для мясного скота; увеличение убойного выхода и доли мышечной ткани согласуется с гипотезой о перераспределении энергетических потоков в пользу белкового синтеза. Снижение доли внутреннего жира может быть связано с усилением транспорта триацилглицеридов из печени и повышением липолитической активности. Экспериментальные исследования Zahra et al. и Zenobi et al. на транзитных коровах показали увеличение удоя и улучшение метаболического профиля при использовании RPC [9, 10]. В исследованиях на ягнятах использование рубцово-защищённого холина в дозах 5–25 г/сут не оказывало достоверного влияния на прирост или убойную массу, но уменьшало концентрацию триглицеридов в крови и увеличивало толщину подкожного жира [4]. Другие авторы показали отсутствие эффекта на производственные показатели при введении до 5 г RPC в рационы откормочных ягнят [5]. При добавлении RPC в рационы козлов с низким уровнем энергии наблюдалось повышение потребления корма и улучшение влагоудерживающей способности мяса, однако среднесуточный прирост оставался стабильным [6]. Помимо влияния на продуктивность, холин рассматривается как фактор профилактики жировой инфильтрации печени и окислительного стресса у коров [7].

Показатели качества мяса – рН24, влагоудерживающая способность, перекисное число – важны для пищевой промышленности. Более низкий рН24 в опытной группе свидетельствует о полноценном протекании постмортального гликолиза и снижает риск возникновения мяса

тёмного, твёрдого и сухого типа (DFD). Повышение влагоудерживающей способности улучшает текстурные характеристики и выход готовой продукции при переработке. Снижение перекисного числа указывает на повышение антиоксидантного статуса и замедление окисления липидов, что может продлить срок годности мясных продуктов. Эти эффекты подтверждают, что метаболическая коррекция с помощью холина оказывает влияние не только на рост, но и на структурно-функциональные свойства мышечной ткани. Эффективность микрокапсулированных форм определяется технологией их получения; современные методы микрокапсулирования на основе спрей-сушки и полисахаридных плёнок защищают активные вещества от деградации и обеспечивают контролируемое высвобождение [3].

Заключение

В результате проведённой работы разработана отечественная микрокапсулированная форма холина хлорида с содержанием активного вещества 60 %, характеризующаяся высокой степенью рубцовой защиты, термостабильностью и равномерным гранулометрическим составом. Производственный опыт на симментальских бычках показал, что введение препарата в дозе 15 г/гол./сут в течение 120 сут повышало среднесуточный прирост, улучшало конверсию корма, увеличивало убойный выход и долю мышечной ткани, одновременно улучшая технологические показатели мяса (pH24, влагоудерживающая способность, перекисное число). Препарат не оказывал негативного влияния на клиническое состояние животных и может рассматриваться как эффективный и безопасный инструмент повышения продуктивности и качества мясного сырья. Предложенная технология микрокапсулирования и полученные данные обладают потенциалом для внедрения в практику кормопроизводства и переработки.

Список источников

1. Pinotti, L., Baldi, A., Dell'Orto, V. Comparative mammalian choline metabolism with emphasis on the high-yielding dairy cow. *Nutrition Research Reviews*. 2002. Vol. 15(2). P. 315–332.
2. Jayaprakash G., Sathiyabarathi M., Tamilmanni T., Jeyanathan J., Lalith V., Ramesh G. et al. Rumen-protected choline: a review // *Veterinary World*. 2016. Vol. 9, No. 9. P. 933–939.
3. Oliveira T.T.B., Ferreira T.C.S., Tavares P.P.L.G., Correia P.R., Ribeiro C.V.D.M., Souza C.O. Innovative lipid delivery systems in ruminant diets: the role of spray drying // *Frontiers in Veterinary Science*. 2025. Vol. 12. Article 1619263.
4. Kawas J. R., Garcia-Mazcorro J. F., Fimbres-Durazo H., Ortega-Cerrilla M. E. Effects of rumen-protected choline on growth performance, carcass characteristics and blood lipid metabolites of feedlot lambs // *Animals*. 2020. Vol. 10, No. 9. Art. 1580.
5. Besharati M., Taghizadeh A., Seifdavati J. Supplementation of graded levels of rumen-protected choline to a pelleted total mixed ration did not improve the growth and slaughter performance of fattening lambs // *Frontiers in Veterinary Science*. 2022. Vol. 9. Art. 1001764.
6. Guo H., Zhang Y., Sun Z., Dong X., Yang R. Effects of rumen-protected choline supplied at different dietary energy levels on growth performance and meat quality of fattening goats // *Journal of Animal and Feed Sciences*. 2020. Vol. 29, No. 4. P. 390–399.
7. Liu Y., Nguyen T., Pires A.V. Choline as a modulator of periparturient diseases in dairy cows // *Veterinary Sciences*. 2025. Vol. 12, No. 3. Art. 201.
8. Humer E., Petri R.M., Aschenbach J.R. et al. Practical feeding of rumen-protected choline to dairy cows: a meta-analysis // *Animals*. 2019. Vol. 9, No. 8. Art. 566.
9. Zahra L.C., Duffield T.F., Leslie K.E., Overton T.R., Putnam D., LeBlanc S.J. Effects of rumen-protected choline and monensin on milk production and metabolism of transition dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2006. Vol. 89, No. 12. P. 4808–4818.
10. Zenobi M.G., Scheffler T.L., Zuniga J.E. et al. Effects of supplementation with ruminally protected choline on performance and metabolism of dairy cows // *Journal of Dairy Science*. 2018. Vol. 101, No. 3. P. 2212–2225.

11. Калашников А. П., Клейменов Н. И., Щеглов В. В. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных : справочное пособие. Москва : ФГБНУ ФНЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста, 2022. 456 с.

Сведения об авторах

П. А. Шинкарук – ассистент базовой кафедры биологической и биохимической инженерии Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем».

Л. А. Текутьева – кандидат технических наук, доцент, директор Передовой инженерной школы «Институт биотехнологий, биоинженерии и пищевых систем», AuthorID: 699929.

Information about the authors

P. A. Shinkaruk – Assistant of the Basic Department of Biological and Biochemical Engineering, Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”.

L. A. Tekutyeva – PhD in Engineering Sciences, Associate Professor, Director of the Advanced Engineering School “Institute of Biotechnology, Bioengineering and Food Systems”, AuthorID: 699929.

Статья поступила в редакцию 03.03.2026; одобрена после рецензирования 07.04.2026; принята к публикации 21.04.2026.

The article was submitted 03.03.2026; approved after reviewing 07.04.2026; accepted for publication 21.04.2026.

© Шинкарук П. А., Текутьева Л. А., 2026.

«Высококонцентрированный рубцово-защищённый холина хлорид (60%): разработка микрокапсулированной формы, биологическая эффективность и влияние на качество мяса бычков» [Шинкарук П. А., Текутьева Л. А.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

ПИЩЕВЫЕ СИСТЕМЫ

Научная статья
УДК 664.959.5

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-11

EDN: IQKBGY

Влияние продолжительности хранения на реологические свойства замороженных хлебобулочных полуфабрикатов

Марина Анатольевна Янова¹, Алёна Витальевна Оникиенко²

Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

¹ yanova.m@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4262-7015

² alena-sazonova-1995@mail.ru

Аннотация. Современные тенденции развития хлебопекарной промышленности характеризуются внедрением технологий низкотемпературного консервирования, позволяющих нивелировать сезонность производства и обеспечивать равномерную загрузку мощностей. Однако длительное хранение замороженных полуфабрикатов сопряжено с риском деструктивных изменений их структурно-механических свойств, что напрямую влияет на качество готовой продукции. В данной работе представлены результаты исследования влияния сроков холодильного хранения на комплекс реологических и органолептических показателей сдобных булочных полуфабрикатов, выработанных с использованием инновационной рецептуры (с добавлением геркулесовой крупы). Образцы подвергались замораживанию до температуры -18°C и последующему хранению в течение 1, 3 и 4 месяцев. Контрольную группу составили образцы, исследованные сразу после замораживания. Установлено, что критическое снижение упругопластических характеристик и ухудшение органолептических свойств наблюдается после 3 месяцев хранения. Полученные данные позволяют рекомендовать ограничить срок хранения исследуемых полуфабрикатов при температуре -18°C тремя месяцами для гарантии стабильного качества выпечки.

Ключевые слова: замороженные хлебобулочные полуфабрикаты, сроки хранения, реологические свойства, упругость, восстановление формы, шоковое замораживание, качество

Для цитирования: Янова М. А., Оникиенко А. В. Влияние продолжительности хранения на реологические свойства замороженных хлебобулочных полуфабрикатов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 109–115.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 109–115.

FOOD SYSTEMS

Original article

Influence of storage duration on rheological properties of frozen semi-finished bakery products

Marina A. Yanova¹, Alena V. Onikienko²

Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

¹ yanova.m@mail.ru, ORCID: 0000-0003-4262-7015

² alena-sazonova-1995@mail.ru

Abstract. Current trends in the baking industry are characterized by the introduction of low-temperature preservation technologies, which make it possible to level out the seasonality of production and ensure uniform capacity utilization. However, long-term storage of frozen semi-finished products carries the risk of destructive changes in their structural and mechanical properties, which directly affects the quality of the final product. This paper presents the results of a study on the influence of refrigerated storage periods on a range of rheological and organoleptic parameters of rich bun semi-finished products made using an innovative recipe (with the addition of rolled oats). The samples were frozen to -18°C and subsequently stored for 1, 3, and 4 months. The control group consisted of samples examined immediately after freezing. It was found that a critical decrease in elastic-plastic characteristics and a deterioration in organoleptic properties are observed after 3 months of storage. The obtained data allow us to recommend limiting the shelf life of the studied semi-finished products at -18°C to three months to guarantee stable quality of the baked goods.

Keywords: frozen bakery semi-finished products, storage periods, rheological properties, elasticity, shape recovery, quick freezing, quality

For citation: Yanova M. A., Onikienko A. V. Influence of storage duration on rheological properties of frozen semi-finished bakery products. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):109–115. (in Russ.).

Введение

Одним из приоритетных направлений развития пищевой индустрии является оптимизация логистических цепочек и обеспечение стабильности качества готовой продукции. В хлебопекарной отрасли эти задачи решаются путем внедрения производства замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности. Технология низкотемпературного консервирования позволяет разделить во времени процессы тестоприготовления и выпечки, что особенно актуально для сетей общественного питания и розничной торговли [1, 7].

Однако процесс замораживания и последующего хранения является стресс-фактором для структуры теста. При переходе воды в лед происходят физико-химические изменения, затрагивающие белково-протеиназный и углеводно-амилазный комплексы муки, а также активность дрожжевых клеток. Ключевую роль играет процесс деградации крахмала и дегидратация клейковинных белков, что ведет к снижению газодерживающей способности и ухудшению реологических свойств полуфабриката [5, 13]. Степень этих изменений напрямую коррелирует с продолжительностью и условиями хранения.

Несмотря на обилие работ в области замораживания хлебобулочных изделий [3, 11, 14], вопросы влияния длительности хранения на реологические параметры полуфабрикатов из сдобного теста с добавлением злаковых культур (в частности, геркулесовой крупы) изучены недостаточно. Овес, а также продукты его переработки содержат значительное количество пищевых волокон и специфические полисахариды (β -глюканы), которые могут влиять на вододерживающую способность и процессы кристаллообразования в замороженном тесте [2, 6].

Целью настоящей работы является экспериментальное обоснование предельно допустимых сроков хранения замороженных полуфабрикатов сдобных булочек, выработанных по измененной рецептуре, на основе анализа динамики их реологических и органолептических свойств.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Разработать рецептуру полуфабрикатов с добавлением геркулесовой крупы, адаптированных для последующего замораживания.
2. Провести сравнительный анализ органолептических показателей и реологических характеристик (упругость, способность к восстановлению формы) полуфабрикатов в зависимости от продолжительности хранения (1, 3, 4 месяца) при температуре -18°C .
3. На основе полученных экспериментальных данных определить оптимальный срок годности, обеспечивающий сохранность качества полуфабрикатов на уровне, соответствующем нормативным требованиям.

Объектом исследования служили полуфабрикаты сдобной булочки, приготовленные по разработанной рецептуре (табл. 1). Отличительной особенностью рецептуры являлось введение 40 г геркулесовой крупы на 500 г пшеничной муки высшего сорта. Контрольный образец не закладывался на хранение, а исследовался на стадии полуфабриката.

Таблица 1

Рецептурный состав исследуемых образцов

Table 1

The prescription composition of the studied samples

Наименование ингредиента	Количество, г (на замес)
Мука пшеничная в/с	500
Молоко (пастеризованное)	200
Масло сливочное	50
Яйцо куриное	90
Дрожжи хлебопекарные	7
Соль поваренная	10
Сахар ванильный	12
Крупа геркулесовая	40

Тесто готовили безопарным способом. После замеса и расстойки в расстоечном шкафу 40 мин, при температуре 35 °С и влажности 80 %, проводили формование тестовых заготовок. Сформованные полуфабрикаты подвергали замораживанию в морозильной камере с принудительной конвекцией воздуха при температуре минус 30...35 °С до достижения температуры в центре заготовки -18 °С. Продолжительность процесса замораживания составила 2,5 ч. Замораживание до указанной температуры классифицируется как быстрое замораживание, обеспечивающее формирование мелкокристаллической структуры льда и минимальную травматизацию тканей теста.

Замороженные образцы закладывали на хранение в камеры с поддержанием температуры -18 ± 1 °С и относительной влажностью воздуха 85–90 %. Сроки хранения составили 1, 3 и 4 месяца. По истечении каждого срока образцы извлекали и дефростировали при комнатной температуре (20–22 °С) в течение 1,5 ч. После дефростации полуфабрикаты выпекали до готовности.

Оценку качества проводили комплексно:

1. Органолептический анализ (форма, поверхность, состояние мякиша, вкус и запах) по 5-балльной шкале согласно ГОСТ [4].

2. Реологические исследования проводили на структурометре СТ-2. Определяли следующие параметры:

- общая упругость (мм) – величина обратимой деформации образца под нагрузкой;
- восстановление формы (%) – отношение величины деформации после снятия нагрузки к первоначальной высоте образца, характеризующее пластичность/эластичность структуры.

Обработку экспериментальных данных проводили методами математической статистики с использованием пакета прикладных программ.

В результате проведенных исследований установлено, что продолжительность хранения оказывает существенное влияние на качественные характеристики полуфабрикатов. Данные органолептической оценки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Динамика органолептических показателей в процессе хранения

Table 2

Dynamics of organoleptic indicators during storage

Показатель	Контроль (0 мес.)	1 месяц хранения	3 месяца хранения	4 месяца хранения
Форма	Правильная	Правильная	Правильная	Правильная, следы деформации
Поверхность	Гладкая, без трещин	Гладкая, без трещин	Гладкая, без трещин	Шероховатая, наличие микротрещин
Мякиш	Мягкий, эластичный, хорошо развитая пористость	Мягкий, эластичный, пористость равномерная	Слегка уплотненный, пористость развита	Плотный, заминающийся, пористость неравномерная
Вкус и запах	Свойственный сдобе, без посторонних	Свойственный сдобе	Свойственный сдобе	Свойственный, слабо выраженный

Анализ табл. 2 показывает, что в течение первых трех месяцев хранения органолептические свойства остаются на высоком уровне, близком к контрольному образцу. После четырех месяцев хранения отмечено появление дефектов: потеря тургора поверхностью (подсыхание), уплотнение мякиша, что свидетельствует о процессах деградации крахмала и частичной денатурации белков, усугубленных длительным криогенным воздействием [9].

Наиболее информативными для количественной оценки деструктивных процессов явились реологические исследования. Результаты измерения упругопластических характеристик полуфабрикатов после дефростации представлены в табл. 3.

Таблица 3

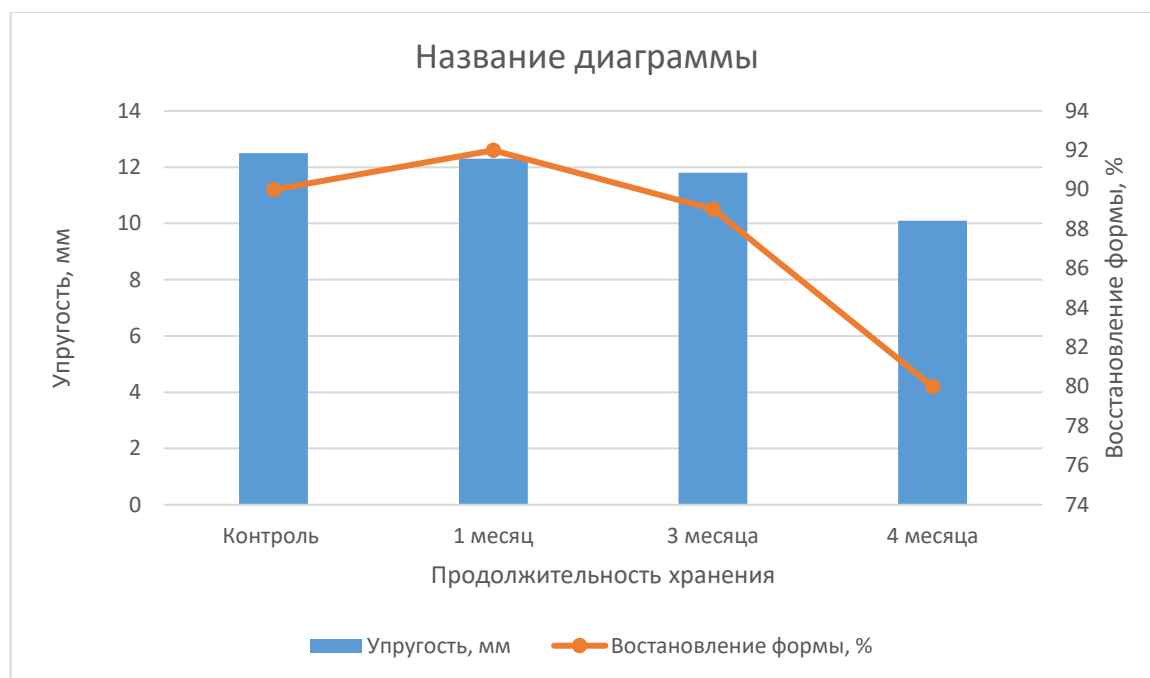
Изменение реологических показателей полуфабрикатов в зависимости от срока хранения

Table 3

Changes in the rheological properties of semi-finished products depending on the storage period

Показатель	Контроль (0 мес.)	1 месяц хранения	3 месяца хранения	4 месяца хранения
Упругость, мм (общая)	$12,5 \pm 0,3$	$12,3 \pm 0,3$	$11,8 \pm 0,4$	$10,1 \pm 0,5$
Восстановление формы, %	90 ± 2	92 ± 2	89 ± 3	80 ± 4

Полученные данные свидетельствуют о том, что в течение первых трех месяцев хранения реологические показатели остаются стабильными. Небольшое увеличение процента восстановления формы на первом месяце хранения (с 90 до 92 %) может быть связано с релаксацией внутренних напряжений в тесте после замораживания [8]. Статистически значимое снижение упругости и, особенно, способности к восстановлению формы (на 11 % относительно контроля) фиксируется после 4 месяцев хранения. Падение показателя восстановления формы до 80 % указывает на преобладание пластических деформаций над упругими, что в технологическом плане означает потерю способности теста удерживать CO₂ при расстойке и выпечке [10, 12].



Динамика изменения упругопластических характеристик полуфабрикатов в процессе хранения. Составлено авторами
Dynamics of changes in the elastic-plastic characteristics of semi-finished products during storage.
Compiled by the authors

Для подтверждения практической значимости полученных данных была проведена контрольная выпечка образцов после каждого периода хранения. После дефростации и расстойки полуфабрикаты выпекались при температуре 180–200 °С до готовности. Органолептическая оценка готовых булочек показала, что изделия, выпеченные из полуфабрикатов, хранившихся 1 и 3 месяца, характеризовались правильной формой, равномерно окрашенной гладкой коркой и хорошо разрыхленным эластичным мякишем, что практически соответствовало контрольным образцам (свежезамороженным). Физико-химические показатели (влажность мякиша, кислотность) для образцов со сроком хранения 3 месяца также оставались в пределах нормируемых значений и не имели статистически значимых отличий от контроля. В то же время выпечка из полуфабрикатов после 4 месяцев хранения дала изделия с более плотным, слегка крошащимся мякишем и менее выраженным вкусом и ароматом, характерным для сдобы, что количественно подтверждает пороговый характер деструктивных изменений, наступающих после 3 месяцев низкотемпературного хранения.

Ухудшение реологических свойств после 4 месяцев хранения коррелирует с органолептическими изменениями, а именно высокой плотностью мякиша и объясняется накоплением необратимых изменений в структуре замороженного теста. Частичная дегидратация белков клейковины и кристаллизация амилопектина крахмала приводят к разрушению пространственной сетки теста и снижению его эластичности.

Таким образом, обоснования предельно допустимых сроков хранения замороженных полуфабрикатов сдобных булочек, выработанных по изменённой рецептуре с добавлением геркулесовой крупы, на основе анализа динамики их реологических и органолептических свойств – привели к следующим результатам. Разработанная рецептура полуфабрикатов адаптирована для низкотемпературного консервирования. Сравнительный анализ показал, что в течение первых трёх месяцев хранения при температуре –18 °С органолептические показатели и реологические характеристики (упругость, восстановление формы) остаются на уровне, близком к контрольным образцам, и соответствуют требованиям к качественным полуфабрикатам. При увеличении срока хранения до четырёх месяцев фиксируется статистически значимое снижение упругопластических свойств: упругость уменьшается на 19 %, восстановление формы –

на 11 %, а также появляются дефекты поверхности и уплотнение мякиша, что подтверждено контрольной выпечкой. Следовательно, на основании полученных экспериментальных данных предельный срок годности исследуемых полуфабрикатов сдобной булочки с геркулесовой крупой при температуре -18°C составляет три месяца, что полностью обеспечивает стабильное качество готовых изделий после дефростации и выпечки.

Список источников

1. Разработка технологии булочного изделия с черносмородиновым порошком как замороженного полуфабриката / М. А. Янова, Л. Г. Ермош, Н. В. Присухина [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 7(196). С. 228–234.
2. Оникиенко, А. В. Влияние порошка смородины на качество хлебобулочных изделий / А. В. Оникиенко // Студенческая наука – взгляд в будущее : материалы XVIII Всероссийской студенческой научной конференции, Красноярск, 15–17 марта 2023 года. Том Часть 6. Красноярск : Красноярский государственный аграрный университет, 2023. С. 105–107.
3. Сазонова, А. В. Влияние шоковой заморозки на витамины в добавках в рецептуре круассана зернового / А. В. Сазонова, А. В. Ларькина, М. А. Янова // Аграрная наука – 2022 : материалы Всероссийской конференции молодых исследователей, Москва, 22–24 ноября 2022 года. Москва : Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, 2022.
4. Смирнова, И. А. Влияние качества воды на показатели качества хлебобулочных изделий / И. А. Смирнова // Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России. 2019. № 8.
5. Мехрянина, С. В. Исследование качества хлебобулочных изделий при хранении в упаковке / С. В. Мехрянина // Осенний школьный марафон : сборник исследовательских работ V Международной научно-практической конференции школьников, Чебоксары, 30 ноября 2017 года. Чебоксары : Общество с ограниченной ответственностью «Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2017. С. 17–19.
6. Ermosh, L. G. Использование растительного жмыха для обогащения хлебобулочных изделий. The use of oilseed cake for supplementation of bakery products / L. G. Ermosh, N. V. Prishina, D. A. Koch, E. V. Eremina // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall. Krasnoyarsk, Russian Federation, 2021. С. 22090.
7. Янова, М. А. Модификация компонентов рецептурного состава хлебобулочных изделий с применением текстурированных смесей / М. А. Янова, Н. В. Присухина, Е. В. Мельникова // Вестник КрасГАУ. 2020. № 2(155). С. 117–125.
8. Штыров, Р. Р. Шоковая заморозка продуктов в сельском хозяйстве и в общественном питании / Р. Р. Штыров, Д. Н. Катусов // Приднепровский научный вестник. 2019. Т. 1, № 2. С. 070–074.
9. Использование порошка из плодов облепихи в рецептуре хлебобулочных изделий / А. С. Доев, А. С. Джабоева, В. В. Тедтова, И. Э. Тедтов // Технологии и продукты здорового питания : материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры «Технологии продуктов питания», 100-летию факультета ветеринарной медицины пищевых и биотехнологий, Саратов, 24–25 мая 2018 года / под ред. И. В. Симаковой. Саратов : ООО «Центр социальных агроинноваций СГАУ», 2018. С. 10–15.
10. Роганова, Е. Е. Изучение возможности применения порошка из яблочных выжимок при производстве хлебобулочных изделий повышенной пищевой ценности / Е. Е. Роганова, П. А. Чалдаев // Современное хлебопекарное производство: перспективы развития : сборник научных трудов XVI Всероссийской заочной научно-практической конференции, Екатеринбург, 29 апреля 2015 года. Екатеринбург : Уральский государственный экономический университет, 2015. С. 17–21.

11. Мякинков, А. Г. Растительные порошки и пищевая ценность хлебобулочных изделий [Овощные и плодово-ягодные порошки в качестве пищевой добавки] / А. Г. Мякинков // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2002. № 3. С. 961.
12. Корячкина, С. Я. Обоснование создания функциональных хлебобулочных изделий с применением смеси порошков тыквы и моркови / С. Я. Корячкина, О. Л. Ладнова, И. С. Лобок, А. В. Микаелян // Хлебопродукты. 2018. № 4. С. 58–60.
13. Алексеев, Г. В. Формирование заготовок мелкоштучных хлебобулочных изделий с управлением реологическими свойствами теста : монография / Г. В. Алексеев, А. С. Иванова. Саратов : Вузовское образование, 2019. 117 с.
14. Исследование процессов замораживания и размораживания при производстве хлеба из пшенично-тритикалевых полуфабрикатов высокой степени готовности : систематический обзор / А. В. Быков, Е. И. Дубенко, Д. Р. Буздаков [и др.] // Хлебопродукты. 2023. № 6. С. 36–43.

Сведения об авторах

М. А. Янова – доктор технических наук, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского и макаронного производств, SPIN-код: 8788-9580.

А. В. Оникиенко – аспирант.

Information about the authors

M. A. Yanova – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Baking, Confectionery and Macaroni Production Technology, SPIN-code: 8788-9580.

A. V. Onikienko – Graduate student.

Статья поступила в редакцию 08.05.2026; одобрена после рецензирования 12.05.2026; принята к публикации 19.05.2026.

The article was submitted 08.05.2026; approved after reviewing 12.05.2026; accepted for publication 19.05.2026.

© Янова М. А., Оникиенко А. В., 2026.

«Влияние продолжительности хранения на реологические свойства замороженных хлебобулочных полуфабрикатов» [Янова М. А., Оникиенко А. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научная статья
УДК 597.553.2

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-12

EDN: PLQXKK

**Плодовитость и воспроизводительная способность сибирской ряпушки
Coregonus sardinella (Coregonidae) реки Индигирки
(бассейн Восточно-Сибирского моря)**

Евгений Вячеславович Бурмистров¹, Александр Федорович Кириллов²

¹ Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН (ИБПК СО РАН), Якутск, Россия

² Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии («ВНИРО»), Якутский филиал («ЯкутскНИРО»), Якутск, Россия

¹ evgburm@gmail.com

² afkirillov@yandex.ru

Аннотация. Сибирская ряпушка является одним из основных промысловых видов в реке Индигирке. Ее среднемноголетний объем вылова (с 1942 по 2025 г.) составляет 241,8 т, или 25,9 % от общего среднемноголетнего вылова рыбы в реке. В последние 10 лет средний вылов ряпушки составлял 78,4 т, или 10,8 % от среднего вылова в этот же период. В контексте снижения объемов вылова исследование воспроизводительной способности ряпушки может иметь значение для прогноза состояния ее запасов. На материале, собранном в 2017–2019 гг. во время нерестового хода сибирской ряпушки в дельте реки Индигирки проанализированы возрастной состав нерестового стада, индивидуальная абсолютная плодовитость, рассчитана воспроизводительная способность на 1000 самок. Абсолютная плодовитость сибирской ряпушки составляет 8,0–114,7 тыс. икринок (в среднем 29,0 тыс. икринок) и увеличивается с возрастом, длиной и массой рыб. Выявлено постепенное омоложение нерестового стада. В размножении принимают участие рыбы в возрасте от 3+ до 10+ лет с SL 193–393 мм и массой 66–857 г. Во время нерестовой миграции доминируют возрастные группы самок ряпушки пяти-семи лет (69,6 %). Диапазон изменчивости индивидуальной абсолютной плодовитости очень широк даже у одноразмерных и одновозрастных особей. Рассчитана воспроизводительная способность ряпушки реки Индигирки, составляющая 24,7 млн икринок на 1000 половозрелых самок.

Ключевые слова: бассейн Восточно-Сибирского моря, река Индигирка, сибирская ряпушка *Coregonus sardinella*, нерестовое стадо, размножение, индивидуальная абсолютная плодовитость, воспроизводительная способность

Для цитирования: Бурмистров Е. В., Кириллов А. Ф. Плодовитость и воспроизводительная способность сибирской ряпушки *Coregonus sardinella* (Coregonidae) реки Индигирки (бассейн Восточно-Сибирского моря) // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 116–123.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Fertility and reproductive capacity of Siberian vendace *Coregonus sardinella* (Coregonidae) of the Indigirka River (East Siberian Sea basin)**Evgeniy V. Burmistrov¹, Alexander F. Kirillov²**¹ Institute for Biological Problems of Cryolithozone Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (IBPC SB RAS), Yakutsk, Russia² Yakutsk Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography ("YakutskNIRO"), Yakutsk, Russia¹ evgburm@gmail.com² afkirillov@yandex.ru

Abstract. The Siberian vendace is one of the main commercial species in the Indigirka River. Its average long-term catch in the period from 1942 to 2025 is 241.8 tons, which is 25.9 % of the total average long-term fish catch in the river. Over the past 10 years, the average vendace catch was 78.4 tons, or 10.8 % of the average catch in the same period. In the context of declining catch volumes, a study of the reproductive capacity of vendace may be important for predicting the state of its stocks. Based on the material collected in 2017–2019 during the spawning run of the Siberian vendace in the Indigirka River delta, the age composition of the spawning stock, individual absolute fecundity, and the reproductive capacity per 1000 females were analyzed. The absolute fecundity of the Siberian vendace is 8.0–114.7 thousand eggs (on average 29.0 thousand eggs) and increases with age, length and weight of the fish. A gradual rejuvenation of the spawning stock was revealed. Fish aged 3+ to 10+ years with SL 193–393 mm and weight 66–857 g take part in reproduction. During the spawning migration, age groups of female vendace aged five to seven years dominate (69.6 %). The range of variability of individual absolute fecundity is very wide even among individuals of the same size and age. The reproductive capacity of the Indigirka River vendace has been calculated at 24.7 million eggs per 1,000 mature females.

Keywords: East Siberian Sea basin, Indigirka River, Siberian vendace *Coregonus sardinella*, spawning stock, reproduction, individual absolute fecundity, reproductive capacity

For citation: Burmistrov E. V., Kirillov A. F. Fertility and reproductive capacity of Siberian vendace *Coregonus sardinella* (Coregonidae) of the Indigirka River (East Siberian Sea basin). *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):116–123. (In Russ.).

Введение

Фауна рыб реки Индигирки представлена 32 видами [1]. Сибирская ряпушка *Coregonus sardinella* лидирует в среднемноголетнем вылове (1942–2025 гг.), уступая в объемах добычи за последние 10 лет (2016–2025 гг.) лишь арктическому омулю *Coregonus autumnalis* и чирю *Coregonus nasus*.

Биология ряпушки в реке Индигирке изучена неполно [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9]. Сибирская ряпушка – полупроходной вид, обитает от приморья до участка Крест-Майор (830 км от устья реки). Летом нагуливается в заливах и бухтах опресненной части шельфа Восточно-Сибирского моря, зимой концентрируется в придельтовых участках и в низовьях дельтовых проток Индигирки. Молодь и пропускающая нерест ряпушка, а также и покатная (отнерестившаяся) рыба в течение всего зимнего периода держатся на опресненных участках шельфа вблизи устья реки. Половозрелой становится в 3+–5+ лет. Осенью половозрелые особи заходят в

дельту, откуда, после формирования нерестовых стад, поднимаются в реку. Нерестовый ход начинается в августе. В нерестовом стаде соотношение полов примерно равное, с небольшим преобладанием самцов. Размножается в конце сентября. Нерестилища расположены в протоках дельты, в русловой части нижнего течения Индигирки и в ее левых притоках [6]. Самки ряпушки нерестятся ежегодно, периодичность нереста имеет приспособительное значение к обеспеченности пищей, которая заметно снижается зимой в результате низких температур воды в этот период.

Численный состав отдельных поколений индигирской популяции ряпушки связан с рядом абиотических факторов (температурный и уровенный режимы в период инкубации икры и нагула молоди и т.д.) и во временном тренде подвержен высокой степени изменчивости. Восстановление численности происходит за счет высокой плодовитости и вступления в нерестовое стадо высокоурожайных поколений.

В реке Индигирке промысел ряпушки производится во время ее нерестового хода, соответственно, облавливаются ее нерестовые скопления. Подледный вылов отнерестившейся ряпушки практически не производится, что объясняется ее минимальной упитанностью и низкой товарной ценностью.

Цель работы: оценка плодовитости и воспроизводительной способности сибирской ряпушки в реке Индигирке.

Материалы и методы

Материал на плодовитость собран в августе–сентябре 2017–2020 гг. в дельте и нижнем течении реки Индигирки с использованием закидного невода, обработан по общепринятым методикам [10, 11, 12]. Индивидуальную абсолютную плодовитость определяли счетно-весовым методом [13]. Для определения воспроизводительной способности рассчитывали количество икры, продуцируемое 1000 самок за нерестовый период [14]. Общий объем обработанного материала составил 1021 экз. сибирской ряпушки, из них у 86 самок определена плодовитость. В работе использованы литературные данные и фондовые материалы Якутского филиала ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО».

В статье приняты следующие сокращенные обозначения: SL – стандартная длина (до основания хвостового плавника), АП – абсолютная плодовитость, n – количество рыб, limit – размах варьирования признака, M – среднее значение признака, m – ошибка среднего значения, t – возраст.

Результаты и их обсуждение

Возрастной состав нерестового стада ряпушки в реке Индигирке за последние 50 лет (по 3964 экз.) претерпел значительные изменения. В начале этого временного промежутка первые нерестующие особи встречались в возрасте 6+ лет (1969 г.), в то время как в последние годы (2017–2019 гг.) возраст полового созревания сократился до 3+ лет. Вместе с этим изменился и возраст производителей, вносящих наибольший вклад в успех воспроизводства популяции ряпушки. В 1969 г. ядро половозрелых рыб составляли особи в возрастах 7+–9+ лет (83, %), в 1970–1984 гг. – 6+–8+ лет (78,0 %), а в современное время основная масса производителей (85,2 %) представлена рыбами в возрастах 4+–7+ лет.

Наблюдаемое омоложение нерестового стада связано с ускорением темпа роста сибирской ряпушки (табл. 1), которая достигает размеров полового созревания при SL 19–22 см уже в четырехлетнем возрасте, т.е. в 3+ лет.

Таблица 1

Линейный рост ряпушки в реке Индигирке за ряд лет (мм)

Table 1

Linear growth of vendace in the Indigirka River over a number of years (mm)

Год	t, лет									n, экз.
	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+	10+	11+	
1967	–	–	–	250	279	291	304	328	340	436
1977	–	–	263	275	282	292	298	308	310	200
2008	–	223	245	271	289	306	321	358	–	169
2017	223	241	255	272	296	331	351	358	–	327
2018	220	236	253	272	288	298	339	338	377	349

В размножении принимают участие рыбы в возрасте от 3+ до 11+ лет с SL 193–393 мм и массой 66–857 г, преобладают возрастные группы ряпушки пяти-восьми лет (90,8 %) (табл. 2).

Таблица 2

Биологическая характеристика нерестового стада ряпушки реки Индигирки

Table 2

Biological characteristics of the spawning stock of vendace in the Indigirka River

t, лет	Пол	SL, мм		Масса, г		n, экз.
		M	limit	M	limit	
3+	♂	221	209-244	106	83-143	30
	♀	206	193-219	80	66-94	2
	♂♀	220	193-244	104	66-143	32
4+	♂	235	215-250	129	91-161	69
	♀	240	223-251	142	101-171	16
	♂♀	236	215-251	131	91-171	85
5+	♂	251	236-267	157	123-199	49
	♀	254	236-275	165	127-203	49
	♂♀	253	236-275	161	123-203	98
6+	♂	269	256-288	194	153-245	17
	♀	272	256-300	216	170-307	34
	♂♀	271	256-300	208	153-307	51
7+	♂	284	270-294	240	162-294	7
	♀	289	270-318	261	194-435	35
	♂♀	285	270-318	258	162-435	42
8+	♂	296	292-300	297	297-299	2
	♀	298	280-341	298	232-536	16
	♂♀	298	280-341	298	232-536	18
9+	♀	339	320-358	513	452-633	5
10+	♀	338	324-353	504	476-533	2
11+	♀	377	361-393	700	585-857	3

Самки старших возрастов (9+–11+ лет) в уловах встречаются редко, что является следствием как высокого уровня промысловой смертности, так и их естественной элиминации. Соотношение полов приблизительно равное, с некоторым преобладанием самцов за счет производителей в возрасте 3+–4+ лет. В старших возрастных группах преобладают самки. Основу нерестового стада составляют рыбы, имеющие SL 215–318 мм в возрастах 4+–7+ лет.

АП ряпушки варьирует от 8,0 до 114,7 тыс. икринок и составляет в среднем 29,0 тыс. икринок. Максимальная индивидуальная АП (114,7 тыс. икринок) отмечена у самки с SL 324 мм, массой 476 г и с массой гонад 110 г, наименьшая (8,0 тыс. икринок) – у самки с SL 238 мм, массой 128 г при массе гонад 11 г. АП увеличивается с возрастом, длиной и массой рыб (табл. 3).

Таблица 3

АП ряпушки реки Индигирки в зависимости от возраста, линейных размеров и массы тела

Table 3

Individual fecundity of vendace of the Indigirka River depending on age, size and weight

t, лет	M±m*	n, экз.	SL, мм	M±m	Доля самок, %	n, экз.	Масса, г	M±m	n, экз.
3+	8,9	1	210–229	10,8±1,7	1,86	3	94–194	15,28±0,6	35
4+	12,2±1,0	8	230–249	14,2±1,0	11,80	10	195–294	23,20±1,2	32
5+	16,3±0,5	20	250–269	17,3±0,7	36,02	24	295–394	32,56±4,0	7
6+	20,3±1,3	23	270–289	22,6±2,0	27,33	17	395–494	71,86±9,9	5
7+	31,8±3,3	17	290–309	27,7±2,2	14,29	19	495–594	74,51±16,3	4
8+	31,8±3,5	8	310–329	71,3±14,1	2,48	4	595–857	98,01±7,0	3
9+	76,1±8,1	4	330–349	49,7±9,4	2,48	3			
10+	91,3±19,1	2	350–369	90,5±10,0	2,48	4			
11+	103,2±9,0	3	370–389	85,2	0,63	1			
			390–409	109,5	0,63	1			

Примечание. * – АП, тыс. икринок.

Зависимость АП ряпушки от ее длины носит экспоненциальный характер (с постоянным процентным увеличением), от массы – линейный (постоянное абсолютное увеличение) с достаточно высокими достоверностями аппроксимации, равными 0,7601 и 0,8484 соответственно.

Дальнейший рост плодовитости ограничивается максимальным возрастом, тем самым, длиной и массой рыб, на которые в основном влияет интенсивность промысла во время нерестовой миграции ряпушки, вызывая повышение темпов промысловой смертности в старших возрастах.

АП ряпушки реки Индигирки колеблется в очень широких пределах даже у одновозрастных и одноразмерных особей. Амплитуда изменчивости АП у ряпушки разных линейных и весовых групп различна и по мере роста рыбы меняется волнообразно. Такой же характер изменения амплитуды изменчивости АП наблюдался у ряпушек рек Яна [15] и Колыма [16]. Сравнение амплитуды изменчивости АП у ряпушки разных поколений показало, что размах

колебаний плодовитости внутри одной возрастной группы зависит от индивидуальных различий в скорости роста и, соответственно, значительного разброса размерно-весовых характеристик у особей одного поколения.

Амплитуды изменчивости АП у ряпушки уменьшается с ростом ее массы. При средних значениях массы (г) самок 137 – 223 – 306 – 404 – 466 отношение АП макс./АП мин. выглядит следующим образом: 2,81 – 2,93 – 2,62 – 1,35 – 1,72. Вероятно, это связано с лучшим обеспечением пищей более крупных особей, которое определяет более равномерный рост индивидуальной массы и размеров икринок.

Во временном тренде изменения АП ряпушки реки Индигирки [17, 3] заметно выделяются данные середины 1960-х гг. В этот период исследований средняя АП примерно на треть ниже, чем таковая в остальные годы, что, возможно, связано с относительно малым объемом выборки (33 экз.). В целом средняя АП ряпушки менялась во времени незначительно и с 1952 г. по 2019 г. в среднем составила 27,7 тыс. икринок. Вместе с тем минимальная и особенно максимальная АП колебались в широких пределах (8,0–114,7 тыс. икринок).

Для выяснения воспроизводительной способности индигирской популяции ряпушки на тысячу самок была применена информация по размерно-половой структуре и АП разных групп, отображенная в табл. 2 и 3. На основе этих данных были рассчитаны доля и количество самок в уловах, средняя плодовитость и количество икринок, отложенных самками, в каждой размерной группе. Сумма выметанной самками икры для всех размерных групп определила воспроизводительную способность популяции на тысячу самок ряпушки, равную 24,71 млн икринок.

В наибольшей степени продуктивными являются самки с SL 250–289 мм в возрасте 5+–6+ лет, на долю которых приходится более 50 % отложенной популяцией ряпушки икры, соответственно, эта категория самок играет важную роль в обеспечении воспроизводительного потенциала популяции.

Воспроизводительная способность ряпушки реки Индигирки на 1000 самок находится в промежуточном положении между ряпушками рек Яна [15] и Колыма [16], что согласуется с данными о средней плодовитости. Средняя видовая абсолютная плодовитость ряпушки реки Индигирки, рассчитанная по Иоганзену Б. Г. [18], равна 32078 икринок и близка к средней для популяций, обитающих в реках бассейнов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского (30311 икринок).

Учитывая, что в последние годы общий допустимый улов осваивается менее чем на 40 % [19], можно было бы предположить, что популяция ряпушки находится в хорошем состоянии. Однако серьезными сдерживающими факторами роста численности популяции являются большой прилов неполовозрелой ряпушки, достигающий до 60 %, и ННН-промысел, при котором реальный вылов превышает официальный в 5,7 раза [20].

Заключение

Средняя АП сибирской ряпушки в реке Индигирке менялась во времени незначительно и составляет 29,0 тыс. икринок при колебаниях 8,0–114,7 тыс. икринок, увеличивается с возрастом, длиной и массой рыб. Зависимость АП ряпушки от длины имеет экспоненциальный характер, от массы – линейный с достаточно высокими достоверностями аппроксимации. Диапазон изменчивости индивидуальной абсолютной плодовитости очень широк даже у одноразмерных и одновозрастных особей и отражает специфику условий обитания отдельных особей ряпушки. Воспроизводительная способность ряпушки реки Индигирки оценена в 24,7 млн икринок на 1000 половозрелых самок и занимает промежуточное положение между ряпушками рек Яна (26,1 млн икринок) и Колыма (23,4 млн икринок).

Список источников

1. Черешнев И. А., Кириллов А. Ф. Рыбообразные и рыбы морских и пресных вод бассейнов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2007. № 2. С. 95–106.
2. Кириллов Ф. Н. Рыбы реки Индигирки // Изв. ВНИОРХ. 1955. № 35. С. 141–167.
3. Кириллов Ф. Н. Рыбы Якутии. М. : Наука, 1972. 360 с.
4. Дормидонтов А. С. К охране и промысловому освоению озер низовья р. Индигирки. Природа Якутии и ее охрана. Якутск : Якутское кн. изд-во, 1972. С. 38–45.
5. Халатян О. В., Алексеева М. Ю. Функциональная изменчивость морфологических признаков молоди ряпушки р. Индигирки на ранних этапах онтогенеза : тез. докл. IV Всесоюзного совещания по биологии и биотехнике разведения сиговых рыб. Л., 1990. С. 71–72.
6. Кириллов А. Ф. Промысловые рыбы Якутии. М. : Научный мир, 2002. 194 с.
7. Иванов Е. В., Соколова В. А. Зоопланктон реки Индигирки и его роль в питании ряпушки в зимний период // Ихтиологические исследования на внутренних водоемах : материалы Междунар. науч. конф. Саранск : Мордов. гос. ун-т, 2007. С. 62–64.
8. Кириллов А. Ф., Иванов Е. В., Ходулов В. В. История формирования, современный видовой состав и особенности распределения пресноводной ихтиофауны реки Индигирки // Вестник Якутского гос. ун-та. 2008. № 5(2). С. 9–19.
9. Бурмистров Е. В., Кириллов А. Ф. Анализ состояния нерестового стада и промысла сибирской ряпушки (*Coregonus sardinella*) в реке Индигирке (бассейн Восточно-Сибирского моря) // Наука сегодня: проблемы и пути решения : материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ч. 1. Вологда : ООО «Маркер», 2018. С. 111–113.
10. Чугунова Н. И. Руководство по изучению возраста и роста рыб. М. : Изд-во АН СССР, 1959. 164 с.
11. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищевая промышленность, 1966. 376 с.
12. Анохина Л. Е. Закономерности изменения плодовитости рыб (на примере весенне- и осенненерестующей салаки). М. : Наука, 1969. 296 с.
13. Спановская В. Д., Григораш В. А. К методике определения плодовитости единовременно и порционно икротелющих рыб. Типовые методики исследования продуктивности рыб в пределах их ареалов. Ч. 2. Вильнюс, 1976. С. 54–62.
14. Никольский Г. В. Экология рыб. М. : Высшая школа, 1963. 368 с.
15. Кириллов А. Ф., Сивцева Л. Н., Венедиктов С. Ю. и др. О воспроизводстве сибирской ряпушки *Coregonus sardinella* (Salmoniformes, Coregonidae) реки Яна // Эколого-биологические проблемы Сибири и сопредельных территорий : материалы II науч.-практ. конф. с междунар. участ. Нижневартовск : Изд-во Нижневартовского государственного гуманитарного университета, 2011. С. 130–134.
16. Кириллов А. Ф., Федорова Е. А. К изучению воспроизводства сибирской ряпушки *Coregonus sardinella* (Salmoniformes, Coregonidae) реки Колымы // Вопросы рыболовства. 2010. № 11(2). С. 232–240.
17. Кириллов Ф. Н. Рыбы реки Индигирки и их промысел : автореф. дис ... канд. биол. наук. Якутск, 1953. 12 с.
18. Иогансен Б. Г. К изучению плодовитости рыб // Тр. Томского ун-та. 1955. Т. 131. С. 139–162.
19. Кириллов А. Ф., Горохова Е. С. Использование биопотенциала промысловых рыб пресноводных водоемов Якутии // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 58, № 4. С. 41–48.
20. Кириллов А. Ф., Бурмистров Е. В., Аргунов П. В., Жирков Ф. Н., Петров И. А. Промысел сибирской ряпушки *Coregonus sardinella* (Coregonidae, Salmoniformes) в реках Якутии // Научные труды Дальрыбвтуза. 2023. Т. 63, № 1. С. 44–54.

Сведения об авторах

Е. В. Бурмистров – младший научный сотрудник, SPIN-код: 8997-8307, AuthorID: 853664.

А. Ф. Кириллов – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, SPIN-код: 6437-6364, AuthorID: 856924.

Information about the authors

E. V. Burmistrov – Junior Researcher, SPIN-code: 8997-8307, AuthorID: 853664.

A. F. Kirillov – PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, SPIN-code: 6437-6364, AuthorID: 856924.

Статья поступила в редакцию 27.04.2026; одобрена после рецензирования 11.05.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 27.04.2026; approved after reviewing 11.05.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Бурмистров Е. В., Кириллов А. Ф., 2026.

«Плодовитость и воспроизводительная способность сибирской ряпушки *Coregonus sardinella* (Coregonidae) реки Индигирки (бассейн Восточно-Сибирского моря)» [Бурмистров Е. В., Кириллов А. Ф.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Закономерности биоаккумуляции микропластика фильтрующими гидробионтами на примере *Unio pictorum* в озере Вельё национального парка «Валдайский»

Злата Геннадьевна Каурова ¹, Ульяна Романовна Сычёва ²

Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,
Санкт-Петербург, Россия

¹ 6zlata@mail.ru

² ul_sycheva@mail.ru

Аннотация. Загрязнение пресноводных экосистем микропластиком представляет угрозу для биоты и требует разработки эффективных методов биоиндикации. Двустворчатые моллюски-фильтраторы, в частности перловица обыкновенная (*Unio pictorum*), рассматриваются как перспективные объекты для оценки селективности накопления частиц разной морфологии. Цель работы – определение селективности биоаккумуляции микропластика различных морфотипов *U. pictorum* путем сравнительного анализа коэффициентов обогащения. Исследование проведено в 2025 г. на акватории озера Вельё (национальный парк «Валдайский»), испытывающего низкую антропогенную нагрузку. Проанализированы пробы воды (планктонная сеть Джеди) и 20 особей моллюсков. Выделение микропластика осуществляли методом фильтрации с последующей микроскопией, идентификацию проводили с соблюдением протоколов контроля контаминации. Установлено доминирование нитевидных частиц как в воде (71,6 %), так и в организме моллюсков (63,4 %). Цветовое распределение (преобладание черных, красных и синих волокон) указывает на антропогенные источники поступления (износ текстиля, деструкция упаковки и рыболовных снастей). На основе расчета коэффициентов обогащения (EF) выявлена селективность аккумуляции: максимальные значения отмечены для фрагментов (EF=1,06), тогда как для нитей (EF=0,62) и плёнок (EF=0,28) они ниже. Показана зависимость удержания нитей от их длины: доля волокон $\geq 1,5$ мм в моллюсках составляет лишь 32,2 %. Высокая корреляция цветового распределения нитей в воде и моллюсках ($r=0,97$; $p<0,05$) подтверждает репрезентативность *U. pictorum* как биоиндикатора. Полученные данные имеют значение для оценки трофического переноса микропластика, экологических рисков и гигиенической безопасности продукции пресноводного промысла. Вид может быть рекомендован для программ экологического мониторинга.

Ключевые слова: микропластик, перловица обыкновенная, *Unio pictorum*, биоаккумуляция, коэффициент обогащения, селективное накопление, пресноводные экосистемы, биоиндикация

Благодарности: выражаем особую благодарность национальному парку «Валдайский» за предоставление площадки и содействия в исследованиях.

Для цитирования: Каурова З. Г., Сычёва У. Р. Закономерности биоаккумуляции микропластика фильтрующими гидробионтами на примере *Unio pictorum* в озере Вельё национального парка «Валдайский» // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 124–130.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Patterns of microplastic bioaccumulation by filtering hydrobionts using the example of *Unio pictorum* in Lake Velje, Valdaysky National Park**Zlata G. Kaurova¹, Ulyana R. Sycheva²**

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russia

¹ 6zlata@mail.ru² ul_sycheva@mail.ru

Abstract. Microplastic pollution of freshwater ecosystems poses a threat to biota and requires the development of effective bioindication methods. Bivalve filter-feeders, particularly the painter's mussel (*Unio pictorum*), are considered promising objects for assessing the selectivity of particle accumulation of various morphologies. The aim of this work is to determine the selectivity of microplastic bioaccumulation of different morphotypes in *U. pictorum* through a comparative analysis of enrichment factors. The study was conducted in 2025 in the waters of Lake Velje (Valdaysky National Park), which experiences low anthropogenic pressure. Water samples (Jeddy plankton net) and 20 mussel specimens were analyzed. Microplastic extraction was performed by filtration followed by microscopy, with identification carried out in accordance with contamination control protocols. The dominance of filamentous particles was established both in water (71,6 %) and in mussel organisms (63,4 %). The color distribution (predominance of black, red and blue fibers) indicates anthropogenic sources of input (textile wear, degradation of packaging and fishing gear). Based on the calculation of enrichment factors (EF), accumulation selectivity was revealed: maximum values were observed for fragments (EF=1,06), while for fibers (EF=0,62) and films (EF=0,28) they were lower. A dependence of fiber retention on their length was shown: the proportion of fibers $\geq 1,5$ mm in mussels is only 32,2 %. A high correlation of the color distribution of fibers in water and mussels ($r=0.97$; $p<0.05$) confirms the representativeness of *U. pictorum* as a bioindicator. The obtained data are important for assessing the trophic transfer of microplastics, environmental risks, and the hygienic safety of freshwater fishery products. The species can be recommended for environmental monitoring programs.

Keywords: microplastics, painter's mussel, *Unio pictorum*, bioaccumulation, enrichment factor, selective accumulation, freshwater ecosystems, bioindication

Acknowledgments: we express our special gratitude to the Valdaysky National Park for providing the study site and assistance in the research.

For citation: Kaurova Z. G., Sycheva U. R. Patterns of microplastic bioaccumulation by filtering hydrobionts using the example of *Unio pictorum* in Lake Velje, Valdaysky National Park. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):124–130. (In Russ.).

Введение

Загрязнение водных экосистем микропластиком (МП) признано одной из серьезных экологических проблем современности, что обусловлено его устойчивостью к деградации, глобальной распространенностью и способностью служить вектором для транспорта по трофическим цепям токсичных соединений, включая полихлорированные бифенилы и тяжелые металлы [9, 10]. Основными источниками поступления синтетических частиц в водные объекты являются бытовые и промышленные стоки, износ автомобильных шин, а также деструкция полимерных материалов и текстиля в водной среде [5].

Особую озабоченность вызывает способность микропластика включаться в трофические цепи. Накопление частиц гидробионтами и их потенциальная миграция по пищевой сети требуют углубленного изучения для оценки рисков как для экосистем в целом, так и для здоровья

человека [10]. Механизмы негативного воздействия включают не только физические повреждения желудочно-кишечного тракта и провокацию воспалительных реакций у организмов, но и опосредованную токсичность за счёт десорбции загрязняющих веществ в желудочно-кишечном тракте после проглатывания [9, 10].

Накопление микропластика в гидробионтах в настоящее время приобретает особую значимость для глобальной продовольственной безопасности из-за увеличивающейся доли продуктов пресноводного промысла и морепродуктов. Однако загрязнение всех водных экосистем микропластиковыми частицами создаёт прямую угрозу риска переноса этих частиц по трофическим цепям в том числе и человеку. Несмотря на то, что прямая связь между потреблением микропластика и конкретными заболеваниями пока окончательно не установлена для человека, потенциальные риски включают в себя повреждение слизистых оболочек и тканей желудочно-кишечного тракта, иммунные и воспалительные реакции, опосредованную токсичность за счёт десорбции загрязняющих веществ (пестициды, тяжёлые металлы, т.п.) и патогенных микроорганизмов с поверхности микропластиковых частиц [3].

Среди гидробионтов пресноводных экосистем наиболее уязвимой группой с точки зрения продовольственной безопасности являются двусторчатые моллюски. В отличие от рыбы, которой обычно удаляют внутренности при промышленной обработке туши, моллюсков часто употребляют в пищу целиком, вместе с желудочно-кишечным трактом, фильтрующим аппаратом, где и может концентрироваться основная масса частиц. Таким образом, употреблённые в пищу моллюски могут быть источником поступления в организм человека микропластика. В связи с этим изучение закономерностей накопления микропластика двусторчатыми моллюсками, включая и пресноводные виды, приобретает важное не только экологическое, но и гигиеническое значение для оценки реальных рисков здоровью населения.

Анализ современной литературы показывает, что количество исследований, посвящённых накоплению микропластика пресноводными двусторчатыми моллюсками, остается ограниченным. К настоящему времени выполнено лишь 22 работы в данной области, при этом только четверть из них приходится на представителей семейства *Unionidae* [6]. Это подчеркивает актуальность исследований, направленных на изучение роли перловиц в процессах трансформации микропластикового загрязнения в пресноводных экосистемах.

Ранее европейскими исследователями была показана принципиальная возможность использования *Unio pictorum* для мониторинга микропластика в условиях антропогенной нагрузки, в частности в зонах влияния очистных сооружений [7]. Однако данные работы были сфокусированы преимущественно на констатации факта поглощения частиц микропластика и не затрагивали вопросы селективности их накопления в зависимости от их морфологии.

Перспективными объектами для такого мониторинга выступают двусторчатые моллюски-фильтраторы, в частности представители семейства *Unionidae*. Благодаря высокой фильтрационной активности и способности аккумулировать взвешенные вещества, они являются эффективными биоиндикаторами [8]. Важной физиологической особенностью унионид является способность к сортировке взвешенных частиц в мантийной полости с последующим выведением непригодного материала в составе псевдофекалий. Это позволяет предположить, что аккумуляция микропластика у них носит не пассивный, а избирательный характер, зависящий от морфологии и размера частиц. Современные исследования в области экотоксикологии микропластика выделяют в качестве одного из ключевых направлений изучение именно селективного питания двусторчатых моллюсков по отношению к частицам разной морфологии, поскольку избирательность накопления определяет дальнейшую судьбу микропластика в трофической сети.

В связи с этим актуальной задачей является разработка и применение методов биоиндикации для интегральной оценки загрязнения водных экосистем. Несмотря на наличие отдельных работ по аккумуляции микропластика двусторчатыми моллюсками, вопросы количественной оценки селективности этого процесса с применением специализированных индексов (коэффициентов обогащения) для пресноводных экосистем России остаются не разработанными.

ными. Перспективными объектами для такого мониторинга выступают двустворчатые моллюски-фильтраторы, в частности, представители семейства *Unionidae*. Благодаря высокой фильтрационной активности и способности аккумулировать взвешенные частицы, они являются эффективными биоиндикаторами [8]. Перловица обыкновенная (*Unio pictorum*) – широко распространённый в пресноводных экосистемах Евразии вид, представляет собой релевантную модель для оценки нагрузки микропластиком в озёрных биоценозах. Настоящее исследование впервые для территории национального парка «Валдайский» реализует сравнительный анализ накопления разных морфотипов микропластика *U. pictorum* с расчетом коэффициентов, позволяющих дифференцировать избирательность аккумуляции.

Цель – определить селективность биоаккумуляции микропластика различных морфотипов двустворчатым моллюском перловицей обыкновенной (*Unio pictorum*) путём сравнительного анализа коэффициентов обогащения.

В начале исследования нами было выдвинуто предположение, что аккумуляция микропластика *U. pictorum* не является пропорциональной его содержанию в воде, а опосредована морфологическими характеристиками частиц (форма, размер), что выражается в различных значениях коэффициентов обогащения для разных морфотипов.

В процессе исследования были выполнены следующие **задачи**, поставленные относительно цели работы:

1. Провести сравнительный анализ морфометрических (форма, цвет) характеристик микропластика в воде озера Вельё и в организме *U. pictorum* для установления корреляционных связей между структурой загрязнения среды и составом биоаккумуляированных частиц.
2. Рассчитать коэффициенты обогащения (Enrichment Factor, EF) для нитевидных, пленочных частиц и фрагментов с целью первичной количественной оценки интенсивности их накопления моллюсками.
3. На основе интегрального анализа полученных индексов (EF и E) охарактеризовать трофическую селективность *U. pictorum* и дать рекомендации по использованию данного вида в качестве биоиндикатора микропластикового загрязнения пресноводных экосистем.

Объекты и методы исследования

Полевые работы выполнялись в 2025 г. на акватории озера Вельё, входящего в состав национального парка «Валдайский» (Новгородская область). Данный водоем характеризуется незначительной антропогенной нагрузкой, что обусловлено его удаленностью от крупных промышленных центров. Интерес изучения данного водного объекта состоит в особенностях его использования как в рекреационных целях, так и хозяйственно-бытовых. Исследование проводилось при поддержке кафедры биологии, экологии и гистологии ФГБОУ ВО «СПбГУВМ».

Сбор моллюсков осуществлялся методом ручного обследования прибрежной зоны. Отобранные экземпляры перловицы обыкновенной (*Unio pictorum*) помещались в стерильные герметичные контейнеры для исключения кросс-контаминации и потери биологического материала. Временной интервал от момента изъятия моллюсков из среды до начала их обработки не превышал 60 мин. Общая выборка составила 20 половозрелых особей в возрастном диапазоне от 5 до 9 лет.

Параллельно с отбором зообентоса производили забор поверхностной воды. Пробы отбирали в том же биотопе с горизонта 0,5 м при помощи планктонной сети Джеди, соответствующей требованиям количественного учета взвешенных веществ. Дальнейшая работа с пробами воды базировалась на протоколах Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA) [5]. Вопросы хранения и транспортировки гидрохимических образцов регламентировались положениями ГОСТ 31861-2012 [1].

Для выделения твердых взвешенных частиц из воды использовали метод последовательной фильтрации через бумажные лабораторные фильтры с различной пропускной способностью («Белая лента» и «Красная лента»). Визуальный учет и идентификацию микропластика

проводили методом сплошного просмотра фильтров под цифровым микроскопом Smarttron 1600X с регистрацией изображений подозрительных фрагментов.

Учитывая высокую распространенность микрочастиц пластика, особенно волокнистой морфологии, в воздушной среде лабораторий, а также широкое использование полимерных материалов в оснащении рабочих мест, на всех этапах исследования (от пробоподготовки до микроскопии) реализовывалась система мер по контролю фонового загрязнения. Применялись методические подходы, изложенные в работах [3, 5], включающие минимизацию контакта проб с пластиковыми поверхностями, использование при исследовании одежды и лабораторных халатов из хлопчатобумажных материалов.

Для оценки интенсивности накопления микропластика рассчитывали коэффициент обогащения (Enrichment Factor, EF) для каждого морфотипа микропластиковых частиц по следующей формуле:

$$EF = \frac{\text{концентрация МП частиц в смыве}}{\text{концентрация МП частиц в пробе воды}}.$$

Результаты

Качественный и количественный анализ содержания микропластика (таблица) говорит об абсолютном преобладании нитевидных частиц над фрагментами и плёнками: общее количество всех нитевидных частиц у особей составило 63,43 % от общего числа всех микропластиковых фрагментов, при этом фрагментов – 34,98 %, плёнок – 1,59 %. В пробе воды также подтверждается данная тенденция: 71,56 % составляют нитевидные фрагменты, фрагменты – 23,22 %, плёнки – 5,22 %.

Показатели содержания микропластиковых частиц

Microplastic particle content indicators

Тип микропластиковых частиц	Усреднённые показатели содержания микропластика в смывах моллюсков, ед./особь	Частицы микропластика в воде озера Вельё, ед./л
Нитевидные, общие показатели	94,3	151
Чёрные	58,35	89
Синие	6,75	13
Красные	28,25	44
Зелёные	0,35	0
Белые	0,6	5
Фрагменты, общие показатели	52	49
Чёрные	40,45	34
Синие	11,1	9
Белые	0,45	6
Плёнки, белые	2,35	11
Всего	148,65	211

Среди нитевидных частиц доминируют чёрные и синие волокна, белые и зеленые волокна встречаются значительно реже. Аналогичная картина наблюдается в пробе воды.

Далее нами был произведён расчёт коэффициента обогащения (Enrichment Factor, EF) [2] по усреднённым данным смывов моллюсков и данным по содержанию микропластиковых частиц в озере Вельё.

$$EF_{\text{нитевидные}} = 94,3/151 \approx 0,62.$$

$$EF_{\text{фрагментов}} = 52/49 \approx 1,06.$$

$$EF_{\text{плёнки}} = 3,13/11 \approx 0,28.$$

Полученные значения коэффициентов обогащения для различных форм микропластиков говорят не только об их пассивном поглощении, но и о селективности их накопления. Фрагменты накапливаются в организме моллюска с незначительным превышением их содержания в воде. Это может быть связано с их размером, плотностью и гидродинамическими свойствами, которые делают их наиболее «удобными» для захвата и удержания фильтрующим аппаратом перловицы, в отличие от плёнок, обладающих большей плавучестью. Накопление нитей составляет около 62 % от их концентрации в воде, следовательно, несмотря на их массовое присутствие в окружающей среде, организм перловицы менее эффективно их удерживает или активнее выводит. Длинные и волокна ($\geq 1,5$ мм) могут быстрее проходить через пищеварительную систему, не задерживаясь, составляя 32,2 % от всех нитевидных фрагментов.

Заключение

В результате проведенного исследования установлено, что в условиях низкой антропогенной нагрузки озера Вельё (национальный парк «Валдайский») микропластиковое загрязнение представлено преимущественно нитевидными частицами, доля которых в воде составляет 71,6 %, а в организме *Unio pictorum* – 63,4 % от общего пула. Выявленное цветовое распределение (доминирование черных, красных и синих волокон) свидетельствует об антропогенных источниках поступления микропластика в водоем, связанных с деструкцией упаковочных материалов, износом синтетического текстиля и фрагментацией рыболовных снастей.

Показано, что перловица обыкновенная аккумулирует микропластик избирательно, о чем свидетельствуют рассчитанные коэффициенты обогащения (EF). Максимальная интенсивность накопления отмечена для фрагментированных частиц ($EF = 1,06$), что превышает показатели для нитевидных частиц ($EF = 0,62$) и пленок ($EF = 0,28$). Данный результат указывает на то, что фрагменты, близкие по размерным характеристикам к пищевым объектам, удерживаются фильтрационным аппаратом моллюска эффективнее, тогда как нити и пленки либо быстрее выводятся с псевдофекалиями, либо обладают меньшей биодоступностью.

Выявлена зависимость удержания нитевидных частиц от их линейных размеров: доля длинных волокон ($\geq 1,5$ мм) в организме моллюсков составляет лишь 32,2 % от общего количества нитей, что позволяет предположить их элиминацию на этапе предварительной сортировки частиц в мантийной полости. Данный факт подтверждает гипотезу о селективном характере аккумуляции, опосредованном морфофункциональными особенностями фильтрационного аппарата *U. pictorum*.

Установлена высокая степень корреляции между цветовым распределением нитевидных частиц в воде и в моллюсках (коэффициент корреляции Пирсона $r = 0,97$; $p < 0,05$), что подтверждает репрезентативность *U. pictorum* как биоиндикатора микропластикового загрязнения водной толщи. Вид может быть рекомендован для включения в программы экологического мониторинга пресноводных экосистем с целью оценки трофического переноса микропластика и связанных с ним экологических рисков.

Полученные данные имеют не только фундаментальное, но и прикладное значение в контексте продовольственной безопасности. Поскольку двустворчатые моллюски употребляются в пищу целиком, выявленная селективность накопления фрагментированных форм микропластика требует учета при гигиенической оценке продукции пресноводного промысла. Перловица обыкновенная, выступая в роли активного селективного фильтрата, осуществляет трансформацию качественного состава взвешенного микропластика, что необходимо принимать во внимание при моделировании миграции частиц по трофическим цепям и оценке рисков для здоровья населения.

Список источников

1. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб.
2. Основы биологического мониторинга : учебное пособие / В. А. Жигульский, В. Ф. Шуйский, А. И. Потапов, Н. А. Соловей, Н. С. Царькова, Т. С. Былина. СПб. : Нестор-История, 2012. 70 с.

3. Кизеев А. Н., Сюрин С. А. Пластик в биосфере – риски биоте и здоровью населения России // Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО. 2023;31(5):41–51. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2023-31-5-41-51>.
4. СТП ИМБИ_028-2016. Стандарт предприятия ИМБИ 2016 г. Методика анализа мезо- и микропластикового загрязнения морских и прибрежных экосистем: грунтов песчаных и галечных пляжей, различных горизонтов пелагиали, донных субстратов и мягких тканей гидробионтов. Севастополь, 2016. 18 с.
5. Arthur, Courtney; Baker, Joel; Bamford, Holly. Proceedings of the International Research Workshop on the Occurrence, Effects and Fate of Microplastic Marine Debris // NOAA Technical Memorandum : journal. 2009. January. URL: <https://www.researchgate.net/publication/285484205/> (дата обращения : 12.02.2026).
6. Chuiko, G. M., Kholmogorova, N. V. & Zharikov, G. P. Influence of Microplastics on Freshwater Bivalves (Review). Inland Water Biol 17. 879–899 (2024). <https://doi.org/10.1134/S199508292470055X> (дата обращения : 28.02.2026).
7. Domogalla-Urbansky, Janina & Anger, Philipp & Ferling, Hermann & Rager, Florian & Wiesheu, Alexandra & Niessner, Reinhard & Ivleva, Natalia & Schwaiger, Julia. (2019). Raman microspectroscopic identification of microplastic particles in freshwater bivalves (*Unio pictorum*) exposed to sewage treatment plant effluents under different exposure scenarios. Environmental Science and Pollution Research. 26. 10.1007/s11356-018-3609-3 (дата обращения : 28.02.2026).
8. Li J, Lusher AL, Rotchell JM, Deudero S, Turra A, Bråte ILN, Sun C, Shahadat Hossain M, Li Q, Kolandhasamy P, Shi H. Using mussel as a global bioindicator of coastal microplastic pollution. Environ Pollut. 2019 Jan;244:522–533. doi: 10.1016/j.envpol.2018.10.032. Epub 2018 Oct 9. PMID: 30368156. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30368156/> (дата обращения : 13.02.2026)
9. Rochman, Chelsea & Hoh, Eunha & Kurobe, Tomofumi & Teh, Swee. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. Scientific reports. 3. 3263. 10.1038/srep03263 (дата обращения : 12.02.2026).
10. World Health Organization (WHO). Microplastics in drinking-water. Geneva: World Health Organization. URL: <https://www.who.int/news/item/20-08-2019-microplastics-in-drinking-water> (дата обращения : 15.02.2026).

Сведения об авторах

З. Г. Каурова – кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, экологии и гистологии.
У. Р. Сычёва – студент 3-го курса.

Information about the authors

Z. G. Kaurova – PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biology, Ecology and Histology.
U. R. Sycheva – 3rd year student.

Статья поступила в редакцию 11.03.2026; одобрена после рецензирования 21.04.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 11.03.2026; approved after reviewing 21.04.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Каурова З. Г., Сычева У. Р., 2026.

«Закономерности биоаккумуляции микропластика фильтрующими гидробионтами на примере *Unio pictorum* в озере Вельё национального парка «Валдайский» [Каурова З. Г., Сычева У. Р.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Бентоценозы и кормовая база озер бассейна реки Лены

Александр Федорович Кириллов¹, Елена Семеновна Горохова²

Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии («ВНИРО»), Якутский филиал («ЯкутскНИРО»), Якутск, Россия

¹ afkirillov@yandex.ru

² e.gorohova@yakutsk.vniro.ru

Аннотация. В бассейне реки Лены (без дельты реки) расположено 205295 озер с общей площадью акватории 37655 км², что составляет 1,5 % от всей площади ее бассейна. Из них в верхнем течении – 15766 озер, общая площадь которых составляет 14600 км² (83,3 % озер расположены в бассейне Витима), в среднем течении – 176691 озеро с площадью 9462 км² (67,7 % озер расположены в бассейнах рек Алдан и Вилюй) и в нижнем течении – 12838 озер с площадью 7693 км². В дельте Лены более 30 тыс. озер, абсолютное большинство (не менее 80 %) которых обладают малой площадью зеркала (до 0,001 км²). В озерах промышленным и любительским ловом осваиваются плотва, серебряный и якутский караси, лещ, щука, пелядь, арктический голец, окунь. Промышленный вылов составляет 1,24 тыс. т (около 60 % от речного). Бентоценоз озер верхнего течения представлен 13 систематическими группами. Численность и биомасса зообентоса составляет в озерах притоков: в Витиме – 22,66 г/м² и 2828 экз./м², в Киренге – 16,10 г/м² и 8017 экз./м² (среднее по притокам: 19,38 г/м² и 5422 экз./м²); в озерах русла Лены – 1,70 г/м² и 233 экз./м². В целом по озерам верхнего течения Лены: 3693 экз./м² и 13,49 г/м². В озерах среднего течения Лены бентоценоз представлен 17 систематическими группами. Наиболее высокая биомасса отмечена в озерных экосистемах бассейна Вилюя, где составляет (в среднем по всем озерам) 10,23 г/м² и 3289 экз./м². В озерах нижнего течения и дельты Лены бентоценоз представлен 9 систематическими группами. Амфибиотические насекомые составляют около 75 % биомассы бентоса и примерно 30 % – личинки хирономид. Численность и биомасса зообентоса составляет (в среднем по всем озерам нижнего течения и дельты Лены) 9,40 г/м² и 1244 экз./м². Средняя биомасса организмов бентоса в озерах бассейна Лены составляет 12,63 г/м² при средней численности 2044 экз./м².

Ключевые слова: бассейн реки Лены, озера, промысловые рыбы, бентоценоз, численность и биомасса организмов зообентоса

Для цитирования: Кириллов А. Ф., Горохова Е. С. Бентоценозы и кормовая база озер бассейна реки Лены // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 131–137.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Benthic communities and the food supply of the Lena River basin lakes

Alexander F. Kirillov¹, Elena S. Gorohova²Yakutsk Branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography
("YakutskNIRO"), Yakutsk, Russia¹ afkirillov@yandex.ru² e.gorohova@yakutsk.vniro.ru

Abstract. There are 205,295 lakes in the Lena River basin (excluding the river delta) with a total water area of 37,655 km², which is 1.5 % of the total area of its basin. Of these, 15,766 lakes are in the upper reaches, with a total area of 14,600 km² (83.3 % of the lakes are located in the Vitim basin), 176,691 lakes with an area of 9,462 km² in the middle reaches (67.7 % of the lakes are located in the Aldan and Vilyuy Rivers' basins), and 12,838 lakes with an area of 7,693 km² in the lower reaches. There are more than 30,000 lakes in the Lena Delta, the absolute majority (at least 80 %) of which have a small surface area (up to 0.001 km²). In the lakes, roach, silver and Yakut crucian carp, bream, pike, peled, arctic char, and perch are caught by industrial and amateur fisheries. The industrial catch is 1.24 thousand tons (about 60% of the river catch). The benthocenosis of the upper reaches of the lakes is represented by 13 systematic groups. The abundance and biomass of zoobenthos in the tributary lakes are: in Vitim – 22.66 g/m² and 2828 specimens/m², in Kirenga – 16.10 g/m² and 8017 individuals/m² (average for tributaries: 19.38 g/m² and 5422 individuals/m²); in the lakes of the Lena channel – 1.70 g/m² and 233 individuals/m². In total, for the lakes of the upper reaches of the Lena: 3693 individuals/m² and 13.49 g/m². In the lakes of the Lena middle reaches, the benthic community is represented by 17 systematic groups. The highest biomass is recorded in the lake ecosystems of the Vilyuy basin, where it is (average for all lakes) 10.23 g/m² and 3289 individuals/m². In the lakes of the lower reaches and the Lena delta, the benthic community is represented by 9 systematic groups. Amphibiotic insects make up about 75 % of the benthic biomass, approximately 30 % being chironomid larvae. The abundance and biomass of zoobenthos are (average for all lakes of the lower reaches and the Lena delta) 9.40 g/m² and 1244 individuals/m². The average biomass of benthic organisms in the lakes of the Lena River basin is 12.63 g/m², with an average abundance of 2,044 individuals/m².

Keywords: Lena River basin, lakes, commercial fish, benthic community, abundance and biomass of zoobenthic organisms

For citation: Kirillov A. F., Gorokhova E. S. Benthic communities and the food supply of the Lena River basin lakes. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):131–137. (In Russ.).

Введение

Река Лена (длина 4,4 тыс. км, площадь водосбора 2,49 млн км²) по гидрологическим характеристикам подразделяется на четыре участка: верхний – от истока до устья р. Витим (протяженность 1690 км), средний – ниже по течению до впадения р. Виллюй (протяженность 1400 км, площадь бассейна 1,74 млн км² – 72 % всей водосборной площади реки), нижний – от устья Виллюя до о. Столб (протяженность 1310 км) и дельту. Принимает 2892 притока, среди которых наиболее крупные: Киренга (правый приток Лены, длина 746 км), Витим (правый приток Лены, длина 1978 км), Олекма (правый приток Лены, длина 1436 км), Алдан (правый приток Лены, длина 2273 км) и Виллюй (левый приток Лены, длина 2650 км).

В бассейне Лены (без дельты реки) расположено 205295 озер с общей площадью акватории 37655 км² [1], что составляет 1,5 % от всей площади ее бассейна. Из них в верхнем течении – 15766 озер, общая площадь которых составляет 14600 км² (83,3 % озер расположены в бассейне Витима), в среднем течении – 176691 озеро с площадью 9462 км² (67,7 % озер расположены в бассейнах рек Алдан и Виллой) и в нижнем течении – 12838 озер с площадью 7693 км². В дельте Лены более 30 тыс. озер, абсолютное большинство (не менее 80 %) которых обладают малой площадью зеркала (до 0,001 км²) и представляют собою неглубокие водоемы, не имеющие рыбохозяйственного значения.

Промышленный вылов рыбы в озерах бассейна Лены составляет около 60 % от речного. Следует отметить, что столь высокий процент достигается за счет активного освоения озерных систем, имеющих рыбохозяйственное значение, в бассейне верхнего течения, тогда как вылов в озерах остальной части бассейна составляет (по данным Восточно-Сибирского территориального управления Росрыболовства за 2024 г.) только 27,5 %. Вылов может быть кардинально увеличен при развитии озерного пастбищного рыбоводства (до 1,8–2,0 тыс. т рыбоводной продукции) [2] и при использовании естественной рыбопродуктивности множества необлавливаемых труднодоступных озерных экосистем [3].

В уловах в озерах верхнего течения Лены доминируют обыкновенная плотва *Rutilus rutilus*, серебряный карась *Carassius gibelio* и лещ *Abramis brama*, среднего течения – пелядь *Coregonus peled*, щука *Esox lucius*, якутский карась *Carassius carassius jacuticus*, нижнего – обыкновенная щука, якутский карась, речной окунь *Perca fluviatilis* и в озерах дельты – арктический голец *Salvelinus alpinus*.

В работе приводятся собственные данные авторов и опубликованные сведения других исследователей о кормовой базе озер бассейна Лены. Разобщенность информации не позволяет оценить кормовую базу озер в бассейне Лены в совокупности, что и определило цель работы – обобщение материалов о бентоценозах в озерах бассейна Лены, биомассе и численности организмов зообентоса как в целом, так и по бассейнам ее различных участков.

Объекты и методы исследований

Изучение бентоценозов, определение численности и биомассы организмов бентоса проводились в озерах бассейна Лены в летний и осенний периоды. Получены данные по 72 озерам, в том числе: бассейн верхнего течения реки – 11 озер [4, 5, 6], среднего течения – 48 озер [7–12, 2, 13, 14], нижнего течения и дельты реки – 13 озер [15–20].

Отбор проб зообентоса осуществляли бентометром (сачком) Леванидова площадью охвата 1/16 м² и дночерпателем Экмана-Берджи с площадью охвата 0,025 м². С одного биотопа на глубинах 0,2–0,6 м отбирали по три пробы, реже более. Организмы фиксировались 4%-м раствором формальдегида или 75%-м раствором этилового спирта. Количественные характеристики оценивали счетно-весовым методом, путем подсчета организмов под увеличением и взвешиванием на торсионных весах Techniprot WT-500 и (или) на электронных весах HR-202i. Определение организмов проводили с помощью широко используемых определителей [21, 22].

Результаты и их обсуждение

Озера верхнего течения Лены

Бентоценоз представлен 13 систематическими группами: круглые черви Nematoda, малощетинковые черви Oligochaeta, пиявки Hirudinea, моллюски Mollusca, водяные клещи Hydrachnidia, ракушковые рачки Ostracoda, бокоплавы Amphipoda, личинки двукрылых Diptera, ручейников Trichoptera, поденок Ephemeroptera, стрекоз Odonata, вислоккрылок Sialidae, жесткокрылые Coleoptera и их личинки.

Состав зообентоса довольно разнообразный и насчитывает около 80 видов и форм животных. Наиболее разнообразен видовой состав личинок хирономид (50 видов и форм).

Численность и биомасса зообентоса составляет в озерах притоков: в Витиме – 22,66 г/м² и 2828 экз./м², в Киренге – 16,10 г/м² и 8017 экз./м² (среднее по притокам: 19,38 г/м² и 5422 экз./м²); в озерах русла Лены – 1,70 г/м² и 233 экз./м². В среднем в озерах верхнего течения Лены: 3693 экз./м² и 13,49 г/м².

Озера среднего течения Лены

Долина Туймаада (г. Якутск). Бентоценоз представлен 9 систематическими группами: личинками двукрылых, поденок и ручейников, малощетинковыми червями, волосатиками *Nematomorpha*, пиявками, жесткокрылыми, бокоплавами и моллюсками. Численность и биомасса зообентоса (в среднем по всем озерам) составляют 444 экз./м² и 3,96 г/м².

Бассейн Олекмы. Бентоценоз представлен 12 систематическими группами: личинками двукрылых, пиявками, личинками ручейников, кольчатыми червями *Annelida*, моллюсками, многощетинковыми червями *Polychaeta*, бокоплавами, малощетинковыми червями, личинками вислокрылок, губками *Porifera*, круглыми червями, ракушковыми рачками. Численность и биомасса зообентоса (в среднем по всем озерам) составляет 3954 экз./м² и 7,29 г/м².

Бассейн Алдана. Бентоценоз представлен 11 систематическими группами: личинками двукрылых, ручейников, стрекоз, поденок, малощетинковыми червями, жесткокрылыми, бокоплавами, моллюсками и др. Первое место по количеству видов занимают личинки хирономид – 18 видов и составляют 44 % от общего видового состава; моллюски – 6 видов и 14,6 %; пиявки – 4 вида и 9,7 %. Численность и биомасса зообентоса (в среднем по всем озерам) составляет 336 экз./м² и 13,54 г/м².

Бассейн Вилюя. Бентоценоз насчитывает 9 систематических групп: личинки двукрылых – 20, моллюски – 12, малощетинковые черви – 1, ракообразные *Crustacea* – 2, личинки ручейников – 1, личинки поденок – 1, вилохвостки *Diplura* – 1, водяные клещи – 1, пиявки – 2. Доминируют личинки хирономид – 41,72 %, в качестве субдоминантов выступают малощетинковые черви, пиявки и моллюски. Численность и биомасса зообентоса составляет (в среднем по всем озерам) 12,31 г/м² (1,00–75,35) и 5320 экз./м² (2920–8672).

Таким образом, в озерах притоков (Вилюй, Алдан, Олекма) бентоценоз представлен 16 систематическими группами: малощетинковые черви, пиявки, моллюски, водяные клещи, личинки вислокрылок, ручейников, двукрылых, поденок, стрекоз, жесткокрылые и их личинки, бокоплавы, вилохвостки, губки, многощетинковые черви, круглые черви, ракушковые рачки. Численность и биомасса зообентоса составляет (в среднем по всем озерам притоков) 11,05 г/м² и 3203 экз./м².

В русловой части Лены бентоценоз представлен 11 систематическими группами: малощетинковые черви, пиявки, моллюски, водяные клещи, личинки вислокрылок, ручейников, двукрылых, поденок, волосатики, жесткокрылые и их личинки, бокоплавы. Численность и биомасса зообентоса составляет (в среднем по всем озерам) 7,77 г/м² и 522 экз./м².

В целом в озерах среднего течения Лены бентоценоз представлен 17 систематическими группами: малощетинковые черви, пиявки, моллюски, водяные клещи, личинки вислокрылок, ручейников, двукрылых, поденок, стрекоз, жесткокрылые и их личинки, бокоплавы, вилохвостки, губки, многощетинковые черви, круглые черви, ракушковые рачки, волосатики. Численность и биомасса зообентоса составляет (в среднем по всем озерам) 10,23 г/м² и 3289 экз./м².

Озера нижнего течения и дельты Лены

Бентоценоз представлен 9 систематическими группами: личинки двукрылых – 20, моллюски – 12, малощетинковые черви – 6, ракообразные – 4, личинки ручейников – 2, личинки веснянок *Plecoptera* – 1, вилохвостки – 1, водяные клещи – 1, пиявки – 1. Доминируют личинки хирономид (41,6 %), моллюски (25 %) и малощетинковые черви (12,5 %). Амфибиотические насекомые составляют около 75 % биомассы бентоса и примерно 30 % из них – личинки хирономид.

Основу бентоса тундровых озер составляют в основном широко распространенные на севере Азии виды: голарктические и палеарктические, в меньшей степени – циркумбореаль-

ные и циркумполярные. Среди представителей голых жаброногов встречены виды – аборигены фауны тундровых озер, такие как евроазиатская *Polyartemia forcipata* и циркумарктическая *Branchinecta paludosa*, *Artemiopsis bungei*. Из щитней (чаще всего в термокарстовых полигональных озерах) отмечен только один вид – циркумарктический *Lepidurus articus*.

Численность и биомасса зообентоса составляет (в среднем по всем озерам нижнего течения и дельты Лены) 9,40 г/м² и 1244 экз./м².

В совокупности в озерах бассейна Лены бентоценоз представлен 20 систематическими группами: малощетинковые черви, пиявки, моллюски, водяные клещи, личинки вислокрылок, ручейников, двукрылых, поденок, веснянок, стрекоз, ракообразные, жесткокрылые и их личинки, бокоплавы, вилхвостки, губки, кольчатые черви, многощетинковые черви, круглые черви, ракушковые рачки, волосатики. Насыщенность бентоценозов систематическими группами в бассейне Лены, входящей в умеренный климатический пояс, значительно выше, чем в субарктическом и арктическом климатических поясах, что хорошо видно из ряда ранжирования количества систематических групп в бентоценозах: озера среднего течения (79,2 %) > озера верхнего течения (62,5 %) > озера нижнего течения и дельты (37,6 %).

Численность и биомасса зообентоса различна в озерах разного генезиса. Наиболее продуктивны эрозионно-термокарстовые озера, в которых численность организмов бентоса составляет 600 экз./м² и биомасса 24,3 г/м², несколько ниже эти показатели в термокарстовых озерах: 468 экз./м² и биомасса 11,53 г/м², водно-эрозионные озера относятся к наименее кормным – 360 экз./м² и 4,64 г/м².

Средняя биомасса организмов бентоса в озерах бассейна Лены составляет 12,63 г/м² при средней численности 2044 экз./м² (таблица).

Распределение биомассы и численности зообентоса в озерах бассейна Лены

Distribution of zoobenthos biomass and abundance in the lakes of the Lena River basin

Река Лена	Русло	Притоки	Среднее по бассейну
Верхнее течение	<u>1,70</u> 233	<u>19,38</u> 5422	<u>13,49</u> 3693
Среднее течение	<u>6,43</u> 352	<u>11,05</u> 3203	<u>9,89</u> 2490
Нижнее течение и дельта	-	-	<u>9,40</u> 1244
<i>Примечание.</i> В числителе – биомасса (г/м ²), в знаменателе – численность (экз./м ²).			

Кормовая база в озерах приточной системы Лены значительно выше, чем в озерах, расположенных в ее русловой части, в среднем в 3,7 раза по биомассе и в 14,8 раза по численности организмов зообентоса.

Заключение

В бассейне р. Лены насчитывается 235,3 тыс. озер, около 80 % из них расположены в верхнем и среднем течениях реки и, главным образом, в бассейнах крупных притоков Лены – реках Киренга, Витим, Олекма, Алдан и Вилюй.

Промышленный вылов рыбы в озерах достигает 60 % от речного (1,24 тыс. т) за счет добычи плотвы, серебряного и якутского карасей, леща, щуки, пеляди, арктического гольца и окуня.

Бентоценоз в озерах бассейна Лены представлен 20 систематическими группами: малощетинковые черви, пиявки, моллюски, водяные клещи, личинки вислокрылок, ручейников,

двукрылых, поденок, веснянок, стрекоз, ракообразные, жесткокрылые и их личинки, бокоплавы, вилохвости, губки, кольчатые черви, многощетинковые черви, круглые черви, ракушковые рачки, волосатики.

Количество систематических групп в бентоценозах наибольшее в озерах бассейна среднего течения (79,2 %), несколько ниже в озерах верхнего течения (62,5 %) и наименьшее – в озерах нижнего течения и дельты (37,6 %).

Биомасса и численность организмов зообентоса последовательно уменьшается от озер бассейна верхнего течения к дельте Лены (от 13,49 г/м² и 3693 экз./м² до 9,40 г/м² и 1244 экз./м²).

Наилучшая кормовая база отмечена в эрозионно-термокарстовых озерах, в которых биомасса бентоса составляет в среднем 24,3 г/м², в озерах русловой части Лены биомасса и численность организмов зообентоса наименьшие.

Средняя биомасса организмов бентоса в озерах бассейна Лены составляет 12,63 г/м², а численность – 2044 экз./м².

Список источников

1. Гидрологическая изученность / Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 17. Вып. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1966. 148 с.; Т. 17. Вып. 2, 1965. 154 с.; Т. 17. Вып. 3., 1966. 209 с.; Т. 17. Вып. 4., 1964. 128 с.; Т. 17. Вып. 5., 1965. 68 с.
2. Кириллов А. Ф., Свешников Ю. А. Предпосылки развития пастбищного рыбоводства в озерах бассейна среднего течения реки Лена // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промысловое и техническое использование : материалы VI Всероссийской науч.-практ. конф. (24–26 марта 2015 г.) Петропавловск-Камчатский : Изд-во Камчат. ГТУ, 2015. С. 131–134.
3. Кириллов А. Ф. Промысловые рыбы Якутии. М. : Научный мир, 2002. 194 с.
4. Книжин И. Б. Сообщества рыб водоемов различного типа бассейна верхнего течения реки Лена: дис. ... канд. биол. наук. Иркутск : ИГУ, 1993. 175 с.
5. Бобкова Е. А., Соколов А. В. Рыбохозяйственное использование Еравно-Харгинской системы озер // Вестник ВСГУТУ. 2013. № 3(68). С. 168–172.
6. Потемкина Т. В., Шевелева Н. Г., Шабурова Н. И., Мишарина Е. А., Книжин И. Б. Структура, количественные показатели зоопланктона и зообентоса верхнего течения р. Лена и его водоемов // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. № 3. 2016. С. 313–329.
7. Титова К. Н., Ларионов Ю. П., Ларионова А. М., Павлов Ю. Д. Озеро Ниджили. Якутск : Якуткнигоиздат, 1966. 60 с.
8. Силина Н. И., Силин Б. В. К вопросу о биопродуктивности озера Дьэбиге Центральной Якутии // Продуктивность экосистем, охрана водных ресурсов и атмосферы. Красноярск, 1975. С. 32–34.
9. Ларионова А. М. Кормовая база Сыардахской группы озер // Озера холодных регионов : материалы Междунар. конф. Ч. 2. Гидробиологические вопросы. Якутск : Изд-во Якутского ун-та, 2000. С. 107–117.
10. Кириллов А. Ф., Мамилов Н. Ш., Шадрин Е. Г. Роль «уникальных» водоемов в сохранении разнообразия ихтиофауны Якутии // Вестник КазНУ. Серия экологическая. Алматы, 2002. № 1(10). С. 16–20.
11. Апсолихова О. Д., Венедиктов С. Ю., Жирков Ф. Н., Ильин И. Ю., Карпов С. О., Кириллов А. Ф., Климовский А. И., Свешников Ю. А. Экология карася *Carassius carassius uacuticus* (Cypriniformes, Cyprinidae) в заморных озерах бассейна среднего течения реки Лена (на примере озера Белое) // Молодой ученый. 2013. № 11(58). С. 233–236.
12. Кириллов А. Ф., Пшенникова Е. В., Салова Т. А. Трансформация озер Лено-Амгинского междуречья Центральной Якутии и причины их деградации // Вестник СВФУ. Якутск : СВФУ. 2015. № 4(48). С. 5–14.

13. Кириллов А. Ф., Салова Т. А. Гидробиология // Прикладные экологические проблемы г. Якутска : сборник научных трудов. Новосибирск : Наука, 2017. С. 130–145.
14. Кузьмина Л. И. Состояние зоопланктона и зообентоса городского озера Теплое // Актуальные вопросы рыболовства, рыбоводства (аквакультуры) и экологического мониторинга водных экосистем. 2018. С. 323–325.
15. Ларионова А. М. Кормовая база озера Долган // Тр. ЯО СибНИИРХ. Якутск : Якутское кн. изд-во, 1969а. Вып. 3. С. 217–223.
16. Ларионова А. М. Зоопланктон и зообентос озёр Тит-Аринской группы (дельта Лены) // Тр. ЯО СибНИИРХ. Якутск : Якутское кн. изд-во, 1969б. Вып. 3. С. 174–187.
17. Кириллов А. Ф. Фауна рыб озёр дельты р. Лены, имеющих не ежегодную связь с рекой // Северный форум : тез. докл. Междунар. конф. Якутск, 1996. С. 49.
18. Гуков А. Ю. Зообентос термокарстовых озёр пойменных участков дельты реки Лены // Гидробиол. журн. 1990. Т. 26, № 2. С. 21–24.
19. Гуков А. Ю. Гидробиология устьевой области реки Лены. М. : Научный мир, 2001. 288 с.
20. Яковлев Б. С. Лимнологическое исследование приморских и дельтовых озёр р. Лена // География и краеведение в Якутии: Озероведение холодных регионов : сб. материалов IV республиканской науч.-практ. конф. Якутск : Изд-во ИП Никифоров А.П., 2016. С. 67–69.
21. Мамаев Б. М. Определитель насекомых по личинкам : пособие для учителей. М. : Просвещение, 1972. 400 с.
22. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 2. Зообентос / под ред. В. Р. Алексеева, С. Я. Цалолихина. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2016. 457 с.

Сведения об авторах

А. Ф. Кириллов – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник, SPIN-код: 6437-6364, AuthorID: 856924.
 Е. С. Горохова – главный специалист лаборатории, SPIN-код: 5618-8807, AuthorID: 927560.

Information about the authors

A. F. Kirillov – PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher, SPIN-code: 6437-6364, AuthorID: 856924.
 E. S. Gorohova – Head of the laboratory, SPIN-code: 5618-8807, AuthorID: 927560.

Статья поступила в редакцию 18.03.2026; одобрена после рецензирования 14.04.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 18.03.2026; approved after reviewing 14.04.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Кириллов А. Ф., Горохова Е. С., 2026.

«Бентоценозы и кормовая база озёр бассейна реки Лены» [Кириллов А. Ф., Горохова Е. С.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научная статья

УДК 639.2 + 519.876.5

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-15

EDN: QUGXUD

Разработка методики расчёта оптимального распределения конических ловушек на палубе судна

Василий Владимирович Кудакоев

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия

kudakaev_v@mail.ru

Аннотация. Определяется необходимость формализации задачи оптимального размещения ловушек на палубе промыслового судна для последующей алгоритмизации и автоматизации процесса. Проблема заключается в отсутствии комплексной математической модели, учитывающей геометрические ограничения, специфику размещения ловушек на промысловой палубе во время перехода судов и ведения промысла. Выполнена разработка математической модели задачи размещения конических ловушек на палубе, представленной в виде прямоугольной области, форму рабочей зоны можно конфигурировать с помощью препятствий произвольной формы. Методы исследования включают формализацию ограничений, разработку целевых функций, построение геометрических моделей препятствий. Результаты представлены в виде системы уравнений и неравенств, описывающих условия корректного размещения. Предложенная модель адекватно описывает практическую задачу и может служить основой для разработки оптимизационных алгоритмов.

Ключевые слова: математическая модель, размещение конусных ловушек, геометрические ограничения, целевая функция, условия коллизии, палубное пространство, ловушечное рыболовное судно, оптимизационная задача

Для цитирования: Кудакоев В. В. Разработка методики расчёта оптимального распределения конических ловушек на палубе судна // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 138–144.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 138–144.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Development of a calculation methodology for the optimal layout of conical pots on a vessel's deck

Vasilii V. Kudakaev

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

kudakaev_v@mail.ru

Abstract. This study is motivated by the need to formalize the problem of optimally placing pots on a fishing vessel's deck for subsequent algorithmization and process automation. The core issue lies in the absence of a comprehensive mathematical model that accounts for geometric constraints and the specifics of trap arrangement on the working deck during both vessel transit

and fishing operations. The paper presents the development of a mathematical model for placing conical traps on a deck represented as a rectangular area. The shape of the working zone can be configured using obstacles of different form. The research methods involve the formalization of constraints, the development of objective functions, and the construction of geometric models for the obstacles. The results are presented as a system of equations and inequalities describing the conditions for correct placement. The proposed model adequately describes the practical problem and can serve as a basis for developing optimization algorithms.

Keywords: mathematical model, placement of conical pots, geometric constraints, objective function, collision constraints, deck space, pot fishing vessel, optimization problem

For citation: Kudakaev V. V. Development of a calculation methodology for the optimal layout of conical pots on a vessel's deck. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):138–144. (In Russ.).

Введение

Задача оптимального размещения объектов на ограниченной площади является классической проблемой исследования операций и вычислительной геометрии. В контексте судов, занимающихся промыслом с использованием конусных ловушек, эта задача приобретает специфические особенности, связанные с конусной формой ловушек, наличием разнообразных препятствий на палубе и другими требованиями. Математическая формализация данной задачи необходима для последующей разработки эффективных алгоритмов и программного обеспечения.

В существующих исследованиях рассматриваются различные аспекты задач упаковки [1, 2], однако комплексная модель, учитывающая все особенности размещения ловушек на палубе рыболовного судна, отсутствует. Большинство работ фокусируется либо на задаче упаковки кругов в прямоугольник без препятствий [1, 2], либо на размещении прямоугольных объектов, либо не учитывают требования минимальных расстояний между объектами. В то же время в области промышленного рыболовства моделируются элементы крабовой ловушки [3, 4, с.198], процессы выборки ловушек [5, 6], но не рассматривается задача их оптимального размещения на палубе. Известные работы по компьютерному моделированию упаковки объектов различной формы [7], [8], [9] послужили основой для идеи данного исследования, направленного на заполнение пробела в области автоматизации размещения конусных ловушек на палубе добывающего судна.

Целью данного исследования является разработка комплексной математической модели задачи размещения конических ловушек на палубе судна.

Для выполнения исследования поставлены следующие задачи:

- 1) формализация области размещения и ограничивающих условий;
- 2) разработка математических моделей препятствий различной геометрической формы (прямоугольники, окружности, равнобедренные и прямоугольные треугольники);
- 3) формулировка условий корректного размещения ловушек;
- 4) определение целевых функций для оптимизации.

Методы исследований

Математическая модель разрабатывалась на основе различных условий размещения ловушек на палубах рыболовных судов. Исследование проводилось методами аналитической геометрии, теории оптимизации и дискретной математики.

Исходные данные для моделирования включают: геометрические параметры палубы, размеры и форму ловушек, минимальные допустимые расстояния, параметры препятствий. В качестве математического аппарата использовались: векторная алгебра для описания геометрических преобразований, неравенства для формулировки ограничений, булевы переменные для описания дискретных решений.

Результаты и их обсуждение

Область размещения конусных ловушек

Палуба рыболовного судна моделируется как прямоугольная область в декартовой системе координат и может быть задана формулой

$$\Omega = \{(x, y) \in R^2 \mid 0 \leq x \leq W, 0 \leq y \leq L\}, \quad (1)$$

где W – ширина палубы;

L – длина палубы;

R – радиус ловушек, которые представляются как круги фиксированного.

Каждая i -я ловушка характеризуется координатами центра (x_i, y_i) .

Модели препятствий

Препятствия на палубе (промысловые механизмы, надстройки, различные люки и оборудование) могут иметь различную геометрическую форму. В текущей модели препятствия приставлены в виде прямоугольников, окружностей, прямоугольных и равнобедренных треугольников. Для каждого типа препятствия разработана соответствующая математическая модель.

Прямоугольное препятствие задается координатами центра (x_j, y_j) , шириной w_j , высотой h_j и углом поворота φ_j . Область, занятая препятствием, описывается системой неравенств после применения преобразования поворота:

$$(x - x_j)\cos\varphi_j + (y - y_j)\sin\varphi_j \leq \frac{w_j}{2}, \quad (2)$$

$$-(x - x_j)\sin\varphi_j + (y - y_j)\cos\varphi_j \leq \frac{h_j}{2}, \quad (3)$$

$$-(x - x_j)\cos\varphi_j - (y - y_j)\sin\varphi_j \leq \frac{w_j}{2}, \quad (4)$$

$$(x - x_j)\sin\varphi_j - (y - y_j)\cos\varphi_j \leq \frac{h_j}{2}. \quad (5)$$

Треугольное препятствие моделируется как выпуклый многоугольник с тремя вершинами. Для равнобедренного треугольника с основанием b_j и высотой h_j координаты вершин описываются как

$$V_1 = \left(x_j, y_j - \frac{h_j}{2} \right), \quad (6)$$

$$V_2 = \left(x_j + \frac{b_j}{2}, y_j + \frac{h_j}{2} \right), \quad (7)$$

$$V_3 = \left(x_j - \frac{b_j}{2}, y_j + \frac{h_j}{2} \right). \quad (8)$$

Принадлежность точки (x, y) треугольнику проверяется с помощью барицентрических координат или проверки знаков векторных произведений.

Для прямоугольного треугольника (прямой угол используется как центр) с длиной горизонтального катета a_j и вертикального b_j координаты вершин описываются как

$$V_1 = (x_j, y_j), \quad (9)$$

$$V_2 = (x_j + a_j, y_j), \quad (10)$$

$$V_3 = (x_j, y_j + b_j), \quad (11)$$

здесь V_1 – вершина прямого угла;

V_2 – конец горизонтального катета;

V_3 – конец вертикального катета.

Круглое препятствие (объекты на виде сверху в виде окружности) задается центром (x_j, y_j) и радиусом r_j . Условие принадлежности области препятствия описывается неравенством

$$(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 \leq r_j^2. \quad (12)$$

Условия корректного размещения ловушек

Для корректного размещения ловушек должны выполняться следующие условия: условие нахождения внутри палубы, условие отсутствия пересечения с препятствиями и условие минимального расстояния между ловушками.

Условие нахождения ловушки внутри палубы можно описать как

$$R \leq x_i \leq W - R, \quad R \leq y_i \leq L - R \quad \forall i \in \{1, \dots, N\}. \quad (13)$$

Условие отсутствия пересечения с препятствиями. Для каждого препятствия j и каждой ловушки i должно выполняться условие непересечения.

Для круглых препятствий условие можно описать как

$$(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \geq (R + r_j)^2 \quad \forall i \in i, \quad j. \quad (14)$$

Для прямоугольных препятствий условие непересечения формулируется через расстояние от центра ловушки до ближайшей точки прямоугольника. Если прямоугольник не повернут, условие имеет вид

$$|x_i - x_j| \geq \frac{w_j}{2} + R \quad \text{или} \quad |y_i - y_j| \geq \frac{h_j}{2} + R. \quad (15)$$

Для повернутых прямоугольников используется преобразование координат:

$$x' = (x_i - x_j) \cos \varphi_j + (y_i - y_j) \sin \varphi_j, \quad (16)$$

$$y' = -(x_i - x_j) \sin \varphi_j + (y_i - y_j) \cos \varphi_j, \quad (17)$$

$$|x'| \geq \frac{w_j}{2} + R \quad \text{или} \quad |y'| \geq \frac{h_j}{2} + R. \quad (18)$$

Условие минимального расстояния между ловушками можно записать как

$$(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 \geq (2R + \delta)^2 \quad \forall i \neq k, \quad (19)$$

где δ – минимальное допустимое расстояние между i -й и k -й ловушками.

Целевые функции могут быть сформулированы в зависимости от практических требований.

Функцию *максимизации количества ловушек* можно сформулировать как

$$F_1 = N \rightarrow \max, \quad (20)$$

где N – количество размещенных ловушек.

Функцию *максимизации заполнения пространства* можно сформулировать как

$$F_2 = \frac{N\pi R^2}{(W \times L - S_{obstacles})} \rightarrow \max, \quad (21)$$

где $S_{obstacles}$ – суммарная площадь, занятая препятствиями.

Функцию *минимизации свободного пространства* можно сформулировать как

$$F_3 = W \times L - N\pi R^2 - S_{obstacles} \rightarrow \min. \quad (22)$$

Задача размещения ловушек полностью математически может быть сформулирована как задача условной оптимизации:

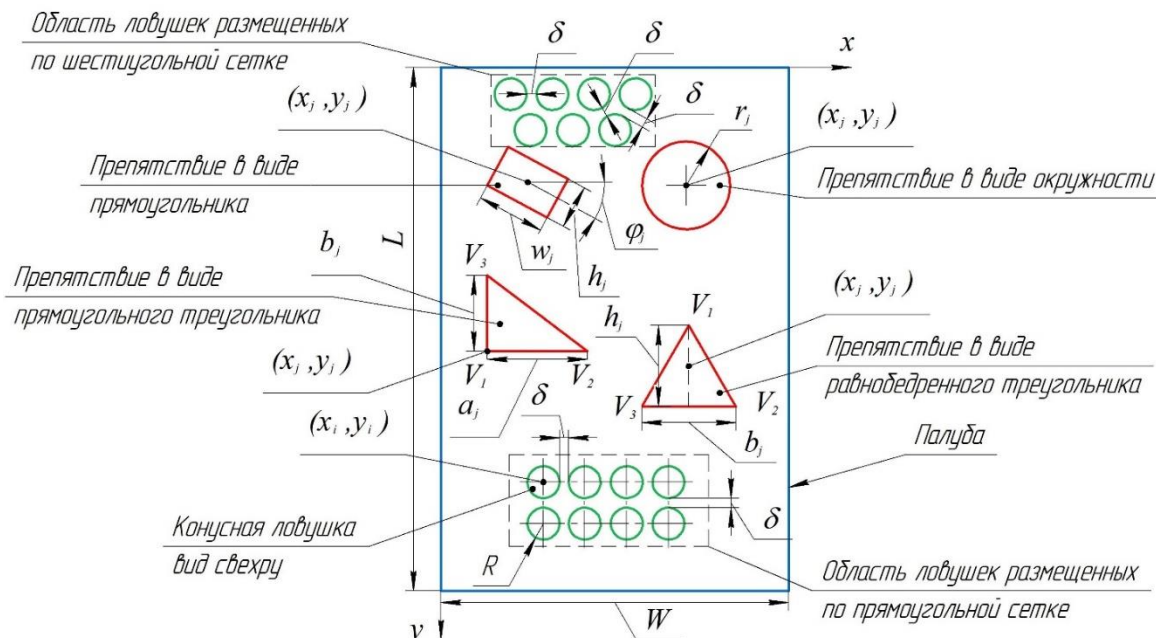
- найти $\{x_i, y_i\}, \quad i = 1, \dots, N;$

- целевая функция: F_1 (или F_2, F_3) $\rightarrow extr$;

- при ограничениях: (14), (15), (19),

где N может быть фиксированным или переменным, подлежащим оптимизации.

Геометрическая интерпретация разработанной математической модели представлена на рисунке.



Геометрическая интерпретация разработанной модели. Составлено автором
Geometric interpretation of the developed model. Compiled by the author

Как обозначено в рисунке, для заполнения промысловой палубы конусными ловушкам предлагается использовать алгоритмы, описанные в работах [1, 2], применяемых для задач упаковки окружностей в прямоугольник по прямоугольной и шестиугольной сеткам.

В таблице представлены основные параметры математической модели.

Основные параметры математической модели для размещения конических крабовых ловушек на палубе рыболовного судна

Basic parameters of the mathematical model for placing conical crab traps on the deck of a fishing vessel

Параметр	Обозначение	Единица измерения
Ширина палубы	W	м
Длина палубы	L	м
Радиус ловушки	R	м
Минимальное расстояние	δ	м
Координаты центра ловушки i	(x_i, y_i)	м
Координаты центра препятствия j	(x_j, y_j)	м

Разработанная математическая модель адекватно описывает практическую задачу размещения ловушек на палубе рыболовного судна. Модель учитывает основные факторы, влияющие на размещение: геометрические ограничения палубы, наличие препятствий различной формы, требования к минимальным расстояниям между ловушками.

К сильным сторонам модели относятся:

- 1) универсальность, т.е. возможность описания препятствий различной геометрической формы;
- 2) полнота, т.е. учет всех основных ограничений;
- 3) гибкость, т.е. возможность использования различных целевых функций в зависимости от практических требований.

В данной интерпретации модель имеет следующие ограничения:

- 1) предположение о жесткости ловушек и препятствий;
- 2) не учтены динамические факторы (движение судна, ветровая нагрузка и т.д.);
- 3) предположение о двухмерности задачи (не учитывается высота расположения объектов).

Практическое применение модели включает:

- 1) использование в качестве основы для разработки алгоритмов автоматического размещения конусных ловушек;
- 2) использование для обоснования выбора нижнего кольца конусных ловушек при проектировании и эксплуатации;
- 3) применение в учебном процессе для обучения методам оптимизации.

Возможные варианты направления развития полученной модели:

- 1) учет трехмерности объектов;
- 2) включение динамических ограничений;
- 3) учет неконической формы ловушек;
- 4) разработка стохастической модели для учета неопределенностей в параметрах.

Заключение

В рамках данного исследования была успешно разработана комплексная математическая модель для решения актуальной практической задачи оптимизации размещения конических ловушек на ограниченном пространстве промысловой палубы судна.

Основным научным результатом работы является формализованная постановка задачи условной оптимизации, которая включает:

- математическое описание рабочей области (палубы) как прямоугольника с возможностью конфигурации;
- универсальные геометрические модели препятствий различной формы (прямоугольники, треугольники, окружности), что повышает адекватность модели реальным условиям;
- систему детерминированных ограничений, гарантирующих корректность размещения ловушек, их нахождение в пределах палубы, отсутствие коллизий с препятствиями и соблюдение минимальных расстояний между объектами;
- набор альтернативных целевых функций (максимизация количества, заполненной площади, минимизация свободного пространства), позволяющих адаптировать модель под конкретные эксплуатационные сценарии.

Предложенная модель восполняет существующий пробел в области автоматизации, предлагая математический аппарат для задач палубного планирования, в отличие от предыдущих работ, фокусировавшихся на вопросах проектирования или технологических процессах.

Практическая значимость модели заключается в том, что она служит готовым фундаментом для создания программных решений и алгоритмов (например, на основе метаэвристик), направленных на автоматическое или полуавтоматическое планирование загрузки палубы. Внедрение таких решений позволит повысить эффективность использования пространства и, как следствие, экономические показатели работы промыслового флота. Кроме того, модель может быть использована для обоснования конструктивных параметров орудий лова на этапе проектирования.

Перспективы дальнейшего развития разработанной модели связаны со снятием принятых упрощающих допущений и могут включать следующие направления: переход от двухмерной к трехмерной постановке задачи с учетом высоты объектов и их возможного штабелиро-

ваны; интеграция динамических факторов (качка судна, инерционные нагрузки) для повышения надежности размещения в реальных морских условиях; расширение библиотеки геометрических форм для моделирования ловушек и препятствий произвольной неконической формы; разработка стохастической версии модели, учитывающей неопределенности в параметрах размещения и внешних условиях.

Представленная работа вносит вклад как в теоретическую область исследования операций и вычислительной геометрии, так и в прикладную сферу промышленного рыболовства, открывая путь к созданию интеллектуальных систем поддержки принятия решений для экипажей судов и судовладельцев.

Список источников

1. Kennedy T. Compact Packings of the Plane with Two Sizes of Discs // *Discrete & Computational Geometry*. 2005. Vol. 33, no. 2. P. 255–267.
2. Heppes A. Some Densest Two-Size Disc Packings in the Plane // *Discrete & Computational Geometry*. 2003. Vol. 30, no. 2. P. 241–262.
3. Габрюк В. И., Бобиков А. В. Моделирование ловушек для лова крабов, креветок и трубачей // *Известия ТИНРО*. 2007. Т. 149. С. 379–393. EDN JJYWYB.
4. Габрюк В. И. Математическое моделирование орудий рыболовства и рыболовных систем (траловой, ярусной и ловушечной). Владивосток : ДВФУ, 2024. 496 с.
5. Осипов Е. В. Моделирование процессов выборки ловушечных крабовых порядков с больших глубин // *Рыбное хозяйство*. 2023. № 2. С. 101–103.
6. Осипов Е. В., Карпелев Т. П. Повышение эффективности выборки крабовых ловушечных порядков // *Рыбное хозяйство*. 2025. № 1. С. 116–120.
7. Совертков П. И., Печугина Д. В. Компьютерное моделирование расположения груш в сушилке // *Информатика в школе*. 2024. № 1. С. 70–76.
8. Гимади, Э. Х. Задача упаковки в контейнеры: асимптотически точный подход / Э. Х. Гимади, В. В. Залюбовский // *Известия высших учебных заведений. Математика*. 1997. № 12. С. 25–33. EDN HQUVJB.
9. Enkhbat, R. Convex Maximization Formulation of General Sphere Packing Problem // *The Bulletin of Irkutsk State University. Series: Mathematics*. 2020. Vol. 31. P. 142–149. DOI 10.26516/1997-7670.2020.31.142. EDN YYFMSV.

Сведения об авторе

В. В. Кудакаев – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное рыболовство».

Information about the author

V. V. Kudakaev – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries.

Статья поступила в редакцию 10.02.2026; одобрена после рецензирования 28.03.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 10.02.2026; approved after reviewing 28.03.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Кудакаев В. В., 2026.

«Разработка методики расчёта оптимального распределения конических ловушек на палубе судна» [Кудакаев В. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Исследование способов управления световым потоком путем регулирования напряжения на рыбопромысловых светильниках

Елена Петровна Матафонова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия
kafel302@mail.ru

Аннотация. Сравнительный анализ способов регулирования напряжения для управления световым потоком рыбопромыслового оборудования должен проводиться с учетом эффективности энергетических показателей судовой системы электроснабжения. С помощью регулировочных характеристик, математического анализа и компьютерного моделирования удобно изучать физические процессы, анализировать различные режимы работы оборудования, что позволяет использовать полученные данные для настройки системы управления. Регулируя напряжение светотехнического рыбопромыслового оборудования с помощью полупроводниковых устройств, можно значительно повысить эффективность вылова рыбных объектов, реагирующих на свет надводных и подводных источников.

Ключевые слова: регулирование светового потока, синхронный генератор, трансформатор, регулировочные характеристики, выпрямители, тиристорный трехфазный регулятор, светотехническое промысловое оборудование

Для цитирования: Матафонова Е. П. Исследование способов управления световым потоком путем регулирования напряжения на рыбопромысловых светильниках // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 145–153.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 145–153.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

A study of methods for controlling luminous flux by regulating voltage on fishing lights

Elena P. Matafonova

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
kafel302@mail.ru

Abstract. A comparative analysis of voltage regulation methods for controlling the light output of fishing equipment should be conducted taking into account the energy efficiency of the ship's power supply system. Using control characteristics, mathematical analysis, and computer modeling, it is convenient to study physical processes and analyze various equipment operating modes, allowing the obtained data to be used to adjust the control system. Regulating the voltage of fishing equipment using semiconductor devices can significantly improve the efficiency of catching fish species that respond to light from surface and underwater sources.

Keywords: luminous flux regulation, synchronous generator, transformer, control characteristics, rectifiers, three-phase thyristor regulator, fishing lighting equipment

For citation: Matafonova E. P. A study of methods for controlling luminous flux by regulating voltage on fishing lights. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):145–153. (In Russ.).

Введение

Многочисленные исследования и эксперименты дальневосточных ученых ФГБНУ «ТИНРО-Центр» в области совершенствования промысловых устройств, значительно повышающих производительность промысла, которые применяются на крупнотоннажных и высокорботных траулерах, показали, что максимальный положительный эффект дает совместное использование в качестве промысловых кварцево-галогеновых ламп и светодиодных люстр с регулировкой светового потока. Это оборудование применяется и на других видах промысла, в том числе при добыче различных гидробионтов (тихоокеанского кальмара, камбалы и др.) с помощью подводного освещения [1].

Процесс привлечения рыбы в зону основного промыслового освещения зависит от комбинации светильников, их мощности, спектра излучающего света, а главное – от плавного регулирования параметрами светильников, которое осуществляется за счет изменения подводимого к светотехническому оборудованию напряжения и дискретного включения и выключения отдельных групп люстр. При промысле рыбонасосами также важно переключение напряжений, создающее «игру света».

Объекты и методы исследований

В качестве объекта исследования рассматривается силовое оборудование крупнотоннажного траулера, входящее в состав судовой электроэнергетической системы, устройства для регулирования напряжения и светотехническое промысловое оборудование.

При написании работы использовались следующие методы: статистический, сравнения, математический анализ и компьютерное моделирование.

Результаты и их обсуждение

Привлечение косяков рыбы к борту сейнера-траулера осуществляется люстрами увеличенной мощности типа КГП –220 В 18 кВт, закрепленными на самой большой высоте, затем путем последовательного выключения бортовые светильники переводят косяк на другой борт в зону ловушки. При этом включают концентрирующие люстры специального спектра и залавливающее устройство.

Таким образом, взаимодействие светового поля на лов рыбы широко используется в рыболовстве, эффективность привлечения и удержания рыбы повышается при определенном изменении характеристик источников света. При этом существуют различные оптимизированные энергетические и спектральные характеристики светотехнического оборудования, используемые для различных способов лова рыбы на свет.

Основная проблема, возникающая при работе силового оборудования, в частности, валогенератора, на световое промысловое оборудование заключается в неравномерном распределении нагрузки в связи с необходимостью регулировать световой поток с разных бортов (подключение люстр).

Самым простым способом регулирования нагрузки с номинальным напряжением 220 В является ее подключение через понижающий трансформатор от судовой сети на 380 В. При этом возможны различные способы регулирования напряжения на низкой обмотке (НН). На рис. 1 показаны возможные способы регулирования выходного напряжения трансформаторов.

Регулирование напряжения за счет подмагничивания части магнитопровода постоянным током можно осуществить трансформаторами или автотрансформаторами с подмагничиваемыми шунтами, передвижением дополнительной короткозамкнутой или вторичной обмотки и меняя положение магнитного шунта.

В любом случае широкодиапазонное регулирование напряжения изменением магнитной связи между обмотками трансформатора при работе его под нагрузкой создаст увеличение массы устройств в 2,5 раза, удельного габаритного объема в 1,3 раза и повысит падения напряжения на 12 % в обмотках и сердечнике по сравнению с обычным трансформатором соизмеримой мощности. Этот способ также практически неприемлем из-за увеличения коэффициента гармонических составляющих, который прямо пропорционален глубине регулирования и обратно пропорционален коэффициенту мощности, и из-за сложности конструкции такого трансформатора.

С целью уменьшения массы трансформатора при таком способе следует применять регулирование напряжения на низкой стороне, так как если регулировать число витков на первичной обмотке, то расчетная мощность такого трансформатора увеличится более чем на 60 %.



Рис. 1. Способы регулирования напряжения рыбопромыслового светотехнического оборудования.

Составлено автором

Fig. 1. Voltage regulation methods for fishing lighting equipment. Compiled by the author

Наиболее приемлемым является трансформатор с регулированием нагрузки без отключения питания и обмоток (трансформаторы РПН). Они позволяют автоматически менять количество ответвлений и, соответственно, напряжение рыбопромысловых светильников в пределах $\pm(10 - 16)\%$. В современных устройствах эту регулировку можно осуществить токоограничивающим реактором, или резистором, или бесконтактным коммутатором с тиристорными ключами, что обеспечивает быстродействие, высокий коэффициент мощности и КПД, а главное, достаточный диапазон. При этом токи холостого хода остаются минимальные на уровне 6 % и не зависят от диапазона регулирования напряжения, а массогабаритные показатели не больше, чем у аналогичного обычного трансформатора такой же мощности.

Общий недостаток регулирования напряжения трансформаторами – масса трансформатора соизмерима с массой синхронного генератора, например, трансформатор ТСЗ-100/0,5 мощностью 100 кВт имеет массу примерно 1 т, как и силовой генератор отечественного исполнения типа МСКФ-92-4.

Наиболее приемлемым является способ переключения секций вторичной обмотки трансформатора с помощью тиристорных ключей, причем следует использовать нереверсивные

секции, так как это позволяет уменьшить сложность коммутационного узла, зависящего от количества ключей. Это позволяет осуществить глубокое регулирование напряжения и не влияет на массу трансформатора.

Хорошие результаты также можно получить с помощью тиристорных регуляторов, включенных в обмотки трансформатора, преимущественно во вторичную, так как это уменьшает количество встречно-параллельно включенных тиристоров и позволяет регулировать напряжение нагрузки от нуля до номинального.

Особенность тиристорных ключей в том, что в момент регулирования нагрузка отключена от трансформатора, но время срабатывания (переключения) очень мало, что вполне допустимо в отдельных случаях.

Питание и регулирование рыбопромыслового светотехнического оборудования от отдельного генератора целесообразно только в случае, когда мощность нагрузки соизмерима с мощностью генератора и нагрузка подключается под линейное напряжение генератора 230 В по схеме «треугольник», так как в этом случае обеспечивается полная загрузка генератора по мощности, т.е. отдельный генератор работает на это оборудование.

В данном случае изменение напряжения на выходе генератора осуществляется воздействием на его систему возбуждения через ток возбуждения. Отечественные генераторы типа МСК снабжены ПАФК (системы прямого амплитудно-фазового компаундирования), но имеется ограничение по диапазону регулирования в размере $\pm 10\%$ от номинального напряжения. Чтобы расширить диапазон, надо вносить изменения в систему возбуждения СГ, а именно менять канал регулирования по отклонению, например, на тиристоры, шунтирующие входные или выходные цепи выпрямителя трехфазного ТФК (трансформатора фазового компаундирования), который через этот выпрямитель подает питание к обмотке возбуждения СГ. В этом случае блок питания корректора напряжения должен подключаться к независимому источнику с напряжением, но обмотки управления и рабочие обмотки вместе с блоком корректора напряжений становятся сильно перегруженными.

При рассмотрении процесса управления напряжением судовой трехфазной нагрузки с помощью управляемых и с помощью полууправляемых выпрямителей следует рассмотреть их диаграммы напряжений, построенные на основании зависимости действующего значения напряжения нагрузки $U_{нг}$ от угла управления тиристорами [2, 3].

На рис. 2 показаны регулировочные характеристики мостового управляемого выпрямителя в сравнении с симметричным регулятором напряжения в трёхфазной трёхпроводной системе электроснабжения.

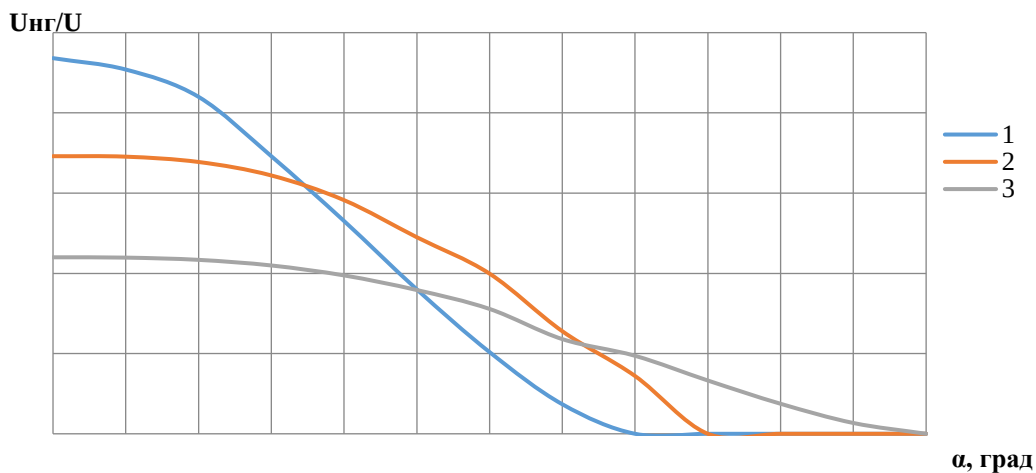


Рис. 2. Регулировочные характеристики: 1 – мостового управляемого выпрямителя; 2 – симметричного тиристорного регулятора с нагрузкой по схеме «треугольник»; 3 – тиристорного регулятора, включенного в фазы нагрузки, соединённой по схеме «звезда». Составлено автором

Fig. 2. Control characteristics: 1 – bridge controlled rectifier; 2 – symmetrical thyristor regulator with a delta-connected load; 3 – thyristor regulator connected to the phases of a star-connected load.

Compiled by the author

Характеристика 1 на рис. 2 показывает действующее значение напряжения выпрямителя в режиме разрывного тока. Номинальному напряжению нагрузки соответствует угол регулирования $\alpha=0^\circ$, при изменении угла в пределах от 65° до 90° напряжение нагрузки уменьшается в 3 раза.

Исследования показали, то работа синхронного генератора с повышенным коэффициентом мощности и полноценная загрузки его приводного двигателя совместно с выпрямителями неприемлема, так как нагрузка генератора и приводного двигателя оказывается примерно в 2 раза хуже, чем при питании нагрузки по схеме «треугольник» от отдельно выделенного генератора. Это потребует введения между источником и преобразователем понижающего трансформатора, что увеличит массу и стоимость электрооборудования в целом.

Для этих целей целесообразно применять трехфазные тиристорные регуляторы напряжения, подключенные между выводами отдельно выделенного для этих целей синхронного валогенератора (чтобы не перегружать судовую электростанцию) и группами распределенных по трем фазам промысловых светильников.

В трехпроводной трехфазной судовой системе электроснабжения целесообразно рассмотреть симметричные регуляторы переменного напряжения, которые по сравнению с несимметричными обеспечивают широкодиапазонное регулирование напряжения и минимальные потери мощности в источнике. Регуляторы могут выполняться по разным схемам, наилучшие из которых, это включение блока встречно-параллельных тиристоров последовательно в каждую фазу нагрузки, соединенной по схеме «треугольник» (диапазон регулирования показан на рис. 2, кривая 2) или «звезда» [4]. В первом случае несимметрия сопротивлений нагрузки вызывает несимметрию напряжений на фазах, что может быть причиной неконтролируемого перегорания люстр при повышении напряжения до недопустимых пределов. Наибольший диапазон изменения напряжения в нужных пределах от номинального значения дает регулятор, соединенный по схеме «звезда» (регулирующие характеристики показаны на рис. 2, кривая 3).

Для протекания тока нагрузки в трехфазных тиристорных регуляторах необходимо открытое состояние тиристоров в 2 или 3 фазах одновременно. Анализ работы регулятора при подаче СИФУ по 2 импульса за полпериода позволяет определить характерные зоны регулирования угла α : 1 – режим естественной коммутации, когда ток проводят все три тиристора ($U_{HT}=\max$ при $\alpha=0^\circ$); 2 – дограничный режим с двухфазной проводимостью: тиристоры проводят ток в двух фазах, при включении следующего один закрывается; 3 – сверхграничный режим с двухфазной проводимостью ($U_{HT}=0$ при $\alpha=150^\circ$).

Временные диаграммы, приведенные на рис. 3 [5], позволяют определить пределы интегрирования и получить формулы действующего значения выходного напряжения (нагрузки) в разных диапазонах, определяющие регулировочные характеристики:

$$U_{нз} = \sqrt{3}U \sqrt{1 - \frac{3\alpha}{2\pi} + \frac{3 \sin 2\alpha}{4\pi}}; \quad 0 \leq \alpha \leq \frac{\pi}{3}, \quad (1)$$

$$U_{нз} = \sqrt{3}U \sqrt{0,5 + \frac{3\sqrt{3}}{4\pi} \sin(2\alpha + \pi/6)}; \quad \frac{\pi}{3} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}, \quad (2)$$

$$U_{нз} = \sqrt{3}U \sqrt{0,416 - \frac{2}{2\pi} + \frac{\sqrt{3}}{8\pi} \cos 2\alpha + \frac{1}{8\pi} \sin 2\alpha}, \quad \frac{\pi}{3} \leq \alpha \leq \frac{\pi}{2}, \quad (3)$$

где U – действующее фазное напряжение синхронного генератора.

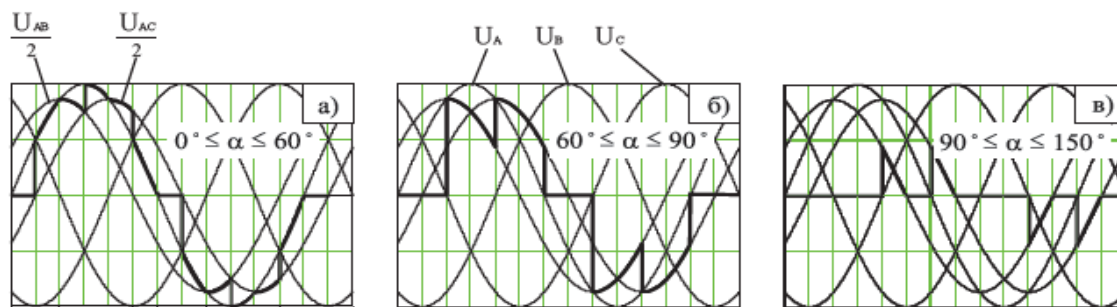


Рис. 3. Временные диаграммы напряжений СГ при симметричной нагрузке, соединенной схемой «звезда» при углах управления: а) $\alpha=30^\circ$; б) $\alpha=60^\circ$; в) $\alpha=120^\circ$ [5, с. 28]

Fig. 3. Timing diagrams of the SG voltages with a symmetrical star-connected load at control angles: а) $\alpha=30^\circ$; б) $\alpha=60^\circ$; в) $\alpha=120^\circ$ [5, p. 28]

Для исследования физических процессов и динамических режимов рассматриваемой системы электроснабжения «синхронный генератор – тиристорный регулятор – трехфазная нагрузка» удобно применять математическую модель в программном комплексе Matlab (пакеты программ Simulink, SimPowerSystems и др.), по которой можно исследовать работу регулятора на активную и реактивную нагрузку в симметричных и несимметричных режимах. Пример обобщенной модели для исследования переходных процессов тиристорного регулятора при работе на активную нагрузку приведен на рис. 4 [5].

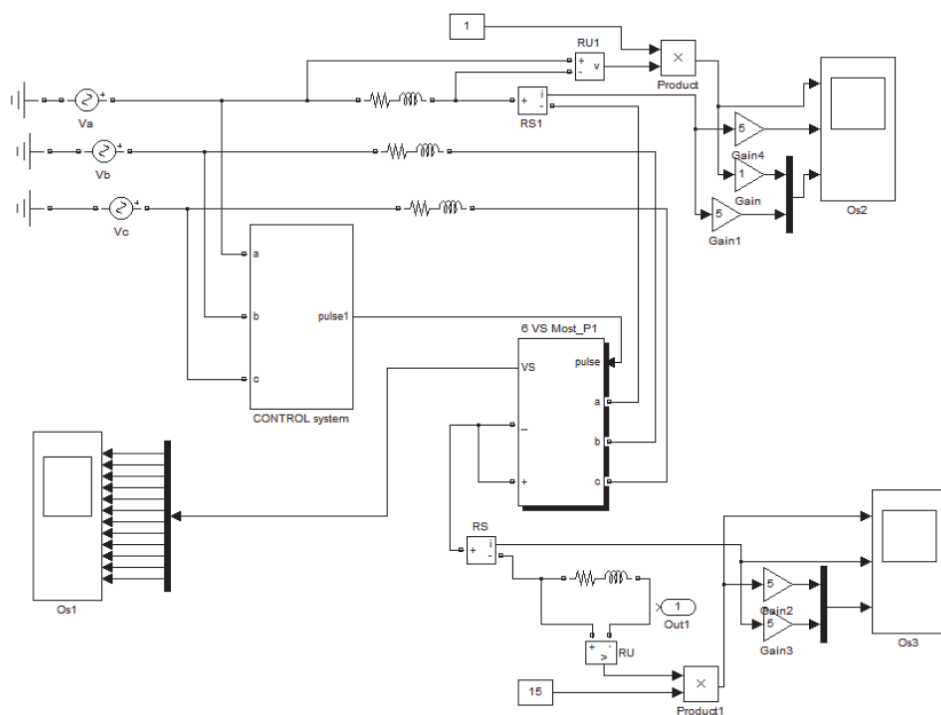


Рис. 4. Модель трехфазного регулятора в программном комплексе Matlab [5, с. 102]

Fig. 4. Model of a three-phase regulator in the Matlab software package [5, p. 102]

Для рыбопромышленного оборудования особенно важно рассмотреть несимметричные режимы в трехфазной системе электроснабжения, необходимые для игры света светотехнического оборудования, распределенного по отдельным фазам и управляемого светового потока в них.

Напряжения нагрузки в фазах пропорционально сопротивлению в них, т.е. количеству включенных люстр. Значительный перекося напряжений возникает в случае обрыва одной из

фаз (отключение люстр). Меняя параметры сопротивлений по фазам, можно смоделировать необходимую «игру света», создаваемую разными значениями напряжений, подаваемых на люстры.

Исследования показали, что максимальная несимметрия имеет место при обрыве одной фазы нагрузки и угле управления тиристорами 90° – фазные напряжения более чем в 1,5 раза, что недопустимо даже кратковременно.

Для регулятора, соединенного по схеме «звезда» при соотношении нагрузок в фазах $R_a=2R_b=2R_c$, и при $\alpha=0$ напряжение фазы a в 1,2 раза превосходит действующее фазное напряжение СГ, а в двух других фазах оно уменьшается. При $\alpha \geq 60^\circ$ действующее значение первой фазы в 1,3 раза больше других по сравнению с симметричным режимом. При обрыве фазы напряжение в ней при $\alpha=0$ на 50 % больше фазного напряжения генератора (230 В), при этом напряжения в других фазах нагрузки равны 110 В, а при больших углах они отличаются в $\sqrt{3}$ раза.

Это вызывает необходимость контроля перенапряжений во всех фазах нагрузки, т.е. снимать управляющие импульсы с тиристоров.

Названное обстоятельство и большие перепады фазных напряжений делают способ регулирования напряжения тиристорными регуляторами в трехфазной системе неудобным и обуславливают применение четырехпроводной системы электроснабжения. Такая схема обеспечивает широкий диапазон регулирования напряжения рыбопромысловых источников света от $1,1U_n$ при угле управления от нуля до 180° , при этом падение напряжения в нейтральном проводе будет незначительное из-за низкого значения его полного сопротивления [2, 3].

При использовании выпрямителя с нулевым проводом диапазон регулирования напряжения $U_{нг} \leq 1,1U$ приходится на режим прерывистого тока. И хотя наибольшее напряжение, при $\alpha=0$, не превышает $1,2U_{ном.}$, генератор и приводной двигатель оказываются недоиспользованы по мощности в 1,6 раза и в 1,2 раза соответственно. К тому же ток нагрузки в этом случае протекает по нулевому проводу и составляет $1,73 I_{фаз.ном.}$. Это потребует внесения изменений в систему судовой электростанции, а именно: замену внутреннего нулевого провода, в противном случае синхронный генератор будет более чем в 9 раз недогружен по мощности, так как Правилами Морского регистра нулевой провод ограничен значением 30 % от фазного номинального тока.

Рассмотренный случай максимальной несимметрии напряжений при отключении групп светильников в одной фазе показал необходимость ограничивать ток в нейтральном проводе, соединяющем нейтральные точки генератора и нагрузки, который при обрыве фазы становится равным номинальному фазному. Поэтому, чтобы поддерживать этот ток на уровне $1/3$ номинального фазного, необходимо исключить такой случай и соблюдать порядок включения светотехнического оборудования таким образом, чтобы числа включенных в разные фазы люстр не отличались больше, чем на единицу.

Гармонический анализ токов путем моделирования в программном комплексе Matlab (пакеты программ Simulink, SimPowerSystems и др.) через функциональный блок Powergui функции FFT Analysis Tool показал, что ток нулевого провода генератора больше токов отдельных гармоник и однозначно требует коррекции, т.е. уменьшения до значения не более одной трети от номинального фазного. Применение заграждающих активных фильтров, включенных последовательно в провод, позволит увеличить сопротивление нейтрального провода и, следовательно, уменьшить ток в нем. Оптимальный фильтр должен соответствовать двум критериям: минимальной суммарной установленной мощности каждого его элемента и значительному ограничению тока нулевого провода.

В связи с нелинейным характером светодиодных источников рыбопромыслового оборудования необходимо также учитывать их электромагнитную совместимость с общей судовой сетью.

Таким образом, приведенные исследования показали, что наиболее оптимальным по энергетическим, массогабаритным и другим показателям является применение тиристорного

регулятора напряжения в трех- или четырехпроводной трёхфазной системе, который обеспечит широкодиапазонное управление световым потоком на сайровом промысле. При этом обязателен контроль работы СИФУ с целью ограничения возможного перенапряжения в фазах при крайнем случае несимметрии.

Заключение

Проведённый сравнительный анализ способов управления световым потоком на сейнере-траулере показал целесообразность изменения напряжения светотехнических промышленных светильников с помощью полупроводниковых регуляторов без вмешательства в оборудование судовой электростанции, с высоким коэффициентом использования синхронного генератора по мощности и минимальными энергетическими потерями.

Для изучения работы устройств по регулированию напряжения светотехнического оборудования, которые подключены к источнику с неизменным номинальным напряжением, необходимо проанализировать временные диаграммы напряжений на нагрузке в характерных диапазонах угла управления тиристорами, получить формулы и построить регулировочные характеристики, необходимые для настройки элементов системы.

С помощью компьютерного моделирования удобно исследовать симметричные и несимметричные режимы работы промышленных источников света при регулировании подводимого к ним напряжения путём изменения количества и мощности люстр в фазах.

Список источников

1. Мизюркин, М. А. Результативность промысла сайры судами, оснащенными различными источниками света / Мизюркин М. А., Жук А. П., Кручинин О. Н., Еремин Ю. В., Буслов А. В. и др. // Рыбное хозяйство. 2019. №1. С. 30–34.
2. Матафонова Е. П., Бурханов С. Б. Особенности применения тиристорных регуляторов для управления световым потоком в промышленном рыболовстве (научная статья) // E3S Web of Conferences 320, 01015 (2021) / Application Features of Thyristor Regulators to Control the Light Flux in Industrial Fishing (англ.) [Электронный ресурс]. Режим доступа: URL: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202132001015>.
3. Матафонова Е. П., Бурханов С. Б. Управление световым потоком рыбопоискового светотехнического оборудования крупнотоннажного траулера // Вестник АГТУ. Серия : Рыбное хозяйство. 2025. № 3. С. 125–132.
4. Ganthia B. P., Ray L., Senapati P., Barik S. K. Simulation of Three Phase Voltage Controlled Soft Switching Start of Induction Motor Drive. International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE). Volume 8. Issue 3, September 2019, pp.8104–8105. ISSN: 2277-3878. Available from: <https://www.ijrte.org/wpcontent/uploads/papers/v8i3C6441098319.pdf> [Accessed 19/02/26].
5. Климаш В. С. Регулировочные свойства, энергетические показатели и моделирование в среде Matlab выпрямителей и регуляторов переменного напряжения : учеб. пособие. Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015. 114 с.

Информация об авторе

Е. П. Матафонова – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электроэнергетика и автоматика».

Information about the author

E. P. Matafonova – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering and Automation.

Статья поступила в редакцию 20.02.2026; одобрена после рецензирования 07.04.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 20.02.2026; approved after reviewing 07.04.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Матафонова Е. П., 2026.

«Исследование способов управления световым потоком путем регулирования напряжения на рыбопромысловых светильниках» [Матафонова Е. П.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Дрожжи *Rhodotorula*, выделенные из морских биотопов и водорослей Японского моря

Инга Владимировна Матросова¹, Екатерина Мироновна Панчишина²,
Надежда Леонидовна Корниенко³, Анастасия Андреевна Политаева⁴

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия

¹ matrosova.iv@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-5316-4955

² panchishina.em@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-5069-0316

³ kornienkonl@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7161-622X

⁴ politaeva.aa@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-8417-140X

Аннотация. Поиск новых технических решений повышения эффективности воспроизводства объектов аквакультуры путем разработки рецептур кормовых препаратов пробиотической направленности с биологически активными свойствами на основе дрожжей *Rhodotorula* является актуальной задачей. В качестве потенциального источника выделения дрожжей *Rhodotorula* выбраны водоросли мелководно-прибрежной зоны заливов Японского моря. Факторами распределения дрожжевых сообществ в изучаемых морских биотопах стали: место отбора проб и глубина, вид водорослей. Из 16 исследованных проб субстратов морского генеза (смывы со стекол с морской водой, водоросли) выделены культуры, на основе полученных данных сформирован атлас, включающий описание культурального роста и микроскопическую картину.

Частота встречаемости дрожжевых сообществ составляет 87,5 %, при этом 21 % из них – искомый вид *Rhodotorula spp.* Показано, что самыми распространенными источниками выделения дрожжей *Rhodotorula spp.* оказались: заливы Славянский и Восток Японского моря и водоросли Ульва лактука (лат. *Ulva lactuca*). Отмечены некоторые отличительные признаки в характере культурального роста выделенных дрожжевых культур, выраженные в вариативности цвета колоний (от нежно-розового до кораллового), степени их обводненности (слизистые или сухие), формы (округлая или неправильная) и поверхности (гладкая или морщинистая).

Ключевые слова: дрожжи, *Rhodotorula*, водоросли, источники, морфология, культуральный рост

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке НИР № 903/2026 «Пробиотическая активность представителей бактериальных сообществ донных отложений прибрежных акваторий Японского моря как потенциальный источник устойчивого воспроизводства гидробионтов».

Для цитирования: Матросова И. В., Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л., Политаева А. А. Дрожжи *Rhodotorula*, выделенные из морских биотопов и водорослей Японского моря // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 154–163.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Rhodotorula* yeast isolated from marine biotopes and algae of the Sea Japan*Inga V. Matrosova¹, Ekaterina M. Panchishina², Nadezhda L. Kornienko³,
Anastasia A. Politaeva⁴**

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia

¹ matrosova.iv@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-5316-4955² panchishina.em@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-5069-0316³ kornienkonl@mail.ru, ORCID: 0000-0002-7161-622X⁴ politaeva.aa@dgtru.ru, ORCID: 0000-0002-8417-140X

Abstract. The search for new technical solutions to increase the efficiency of aquaculture reproduction by developing formulations of probiotic feed preparations with biologically active properties based on *Rhodotorula* yeast is an urgent task. Algae from the shallow coastal zone of the bays of the Sea of Japan were selected as a potential source of *Rhodotorula* yeast. The factors of distribution yeast communities in the studied marine biotopes were: sampling site, depth and type of algae. From 16 studied samples substrates of marine genesis (washings from glass with seawater, algae), cultures were isolated, based on the data obtained, an atlas was formed, including a description of cultural growth and a microscopic picture. The frequency of occurrence of yeast communities is 87.5 %, with 21 % of them being the desired species *Rhodotorula* spp. It has been shown that the most common sources of yeast release are *Rhodotorula* spp. They turned out to be: the gulfs of Slavyansky and Vostok, the Sea of Japan, and the algae of *Ulva lactuca*. There are some distinctive features in the nature of the cultural growth of the isolated yeast cultures, expressed in the variability color of the colonies (from pale pink to coral), the degree of their water content (slippery or dry), the shape (round or irregular), and the surface (smooth or wrinkled).

Keywords: yeast, *Rhodotorula*, algae, sources, morphology, and cultural growth

Funding: the work was carried out with financial support from Research Project No. 903/2026 "Probiotic Activity of Bacterial Communities in Coastal Sediments of the Sea of Japan as a Potential Source of Sustainable Reproduction of Hydrobionts".

For citation: Matrosova I. V., Panchishina E. M., Kornienko N. L., Politaeva A. A. *Rhodotorula* yeast isolated from marine biotopes and algae of the Sea Japan. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):154–163. (In Russ.).

Введение

Многими авторами исследований установлено, что на распространение дрожжей по акваториям большое влияние оказывают органическое вещество автохтонного и аллохтонного происхождения, фито- и зоопланктон и течения [1–3]. Несмотря на то, что в море наблюдается явление микрозонального распределения исследуемой группы организмов, однако, как показывают данные, чаще всего дрожжевые организмы обнаруживаются в прибрежных и поверхностных водах, в предустьевых участках рек, близ населенных пунктов и островов, т.е. там, где происходит максимальный сброс органического вещества и отмечается высокая численность фито- и зоопланктона [4].

Массовый рост дрожжей часто происходит на поверхности вегетирующих и отмерших водорослей [5, 6]. Г. А. Надсон и Г. Бургвиц выделяли дрожжи с поверхности морских водорослей вдоль побережья Северного Ледовитого океана и на о. Кильдин. Отмечена специфика приспособления отдельных видов дрожжей к жизни на различных водорослях. Так, белые

дрожжи рода *Torula* встречались главным образом на *Laminaria sacharina* и *Alaria esculenta*, а окрашенные – на *Rhodimenia palmata*, *Fucus vesiculosus* и *Laminaria sacharina* [7].

Детальные исследования экологии дрожжей, обитающих на морских водорослях, проведены японскими и американскими учеными [5, 8–10]. Японские микробиологи изучали распределение дрожжей на представителях таких водорослей, как *Rhodophyta*, *Chlorophyta*, *Phaeophyta*, среди которых 2 вида саргассовых. С гниющих водорослей выделено 39 культур, отнесенных к 13 видам, из которых преобладали *Rhodotorula mucilaginosa*, *Candida parapsilosis* var. *intermedia* и *Torulopsis famata* [5, 6].

Исследования показали, что дрожжевые организмы нередко встречаются в Черном море на глубинах от 1750 до 2000 м, в Охотском море и Тихом океане от 2500 до 4000 м [1]. В открытом море меньшее количество и частота встречаемости дрожжей, чем в прибрежных районах моря [1]. Так, например, в прибрежных участках Черного моря дрожжи встречались в 58 % проб, в открытом море – 38 %. Аналогичные картина наблюдалась в Охотском море и Тихом океане. Например, на прибрежной станции дрожжи найдены в планктоносфере во всех слоях воды и в больших количествах (54–72 кл. в 1 мл воды).

В предыдущих работах нами была определена значимость изучения дрожжевого сообщества морских мест обитания и объектов водных биоресурсов Дальневосточного бассейна [11, 12]. Наши исследования направлены на поиск пробиотических добавок к кормам для гидробионтов, выращиваемых в аквакультуре, на основе штаммов бактерий, выделенных из мест их естественного обитания. Развитие таких исследований широко проводится во всем мире и определяется возрастающим спросом на продукцию аквакультуры, получение которой сопровождается различными проблемами.

Цель настоящего исследования – определить распределение дрожжевых сообществ в зависимости от места и глубины отбора проб морской воды и водорослей.

Объекты и методы исследований

В качестве объекта микробиологических исследований для изучения распределения дрожжевых сообществ были пробы морской воды и водорослей мелководно-прибрежной зоны, характеристика которых, включающая в себя данные о местоположении районов их отбора, приведена в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика объектов микробиологических исследований

Table 1

Characteristics of microbiological research objects

№ образца	Дата отбора пробы	Место отбора пробы	Температура воды, °С	Глубина, м	Вид водорослей
1	18.05.25	Озеро Второе, бухта Козьмино, зал. Находка, Японское море	16,7	0	-
2		Бухта Окуневая, Японское море	16,6	1	-
3		Бухта Тихая заводь, зал. Восток, Японское море	15,2	2	-
4	25.05.25	Бухта Северная, зал. Славянский, Японское море	13,9	5	-
5		Мыс Брюса, зал. Славянский, Японское море	12,4	10	-
6.1	08.06.25	Бухта Руднева, зал. Стрелок, Японское море	18,5	0,5–1	Хорда нитевидная (лат. <i>Chordaria filum</i>)
6.2		Бухта Руднева, зал. Стрелок, Японское море	18,7	0,5–1	Ульва лактука (лат. <i>Ulva lactuca</i>)
6.3		Бухта Руднева, зал. Стрелок, Японское море	18,5	0,5–1	Ульва Лактука (лат. <i>Ulva lactuca</i>); Хорда нитевидная (лат. <i>Chordaria filum</i>); Зостера морская (лат. <i>Zostera marina</i>)

6.4	Бухта Руднева, зал. Стрелок, Японское море	18,4	0,5–1	Зостера морская (лат. <i>Zostera marina</i>)
7.1	Бухта Руднева, зал. Стрелок, Японское море	18,6	0,5–1	Костария ребристая (лат. <i>Costaria costata</i>)
8.1	Бухта Восток, зал. Восток, Японское море	17,9	0,5–1	Костария ребристая (корень) (лат. <i>Costaria costata</i>)
9.1	Бухта Восток, зал. Восток, Японское море	17,7	0,5–1	Зостера морская (лат. <i>Zostera marina</i>)
9.2	Бухта Восток, зал. Восток, Японское море	17,9	0,5–1	Зостера морская (лат. <i>Zostera marina</i>)
9.3	Бухта Восток, зал. Восток, Японское море	17,5	0,5–1	Ульва лактука (лат. <i>Ulva lactuca</i>)
10.1	Бухта Авангард, зал. Восток, Японское море	18,2	0,5–1	Ульва лактука (лат. <i>Ulva lactuca</i>)
10.2	Бухта Авангард, зал. Восток, Японское море	18,6	0,5–1	Хорда нитевидная (лат. <i>Chordaria filum</i>)

Вода из исследуемых водоемов и образцы водорослей помещались в стерильные пластмассовые контейнеры со слоем воды – не более 6 см, на дно устанавливали два предметных стекла, ориентированных вертикально. Пробопостановку стеклообрастания исследовали на 6-е сутки [11, 13]. Пробы водорослей до исследования хранились 24 ч. Выделение дрожжей проводили общепринятым методом накопления культур [13] и согласно схеме, ранее подробно описанной авторами настоящей статьи [11]. Морфологические и культуральные признаки выделенных культур дрожжей изучали классическими методами [14].

Результаты и их обсуждение

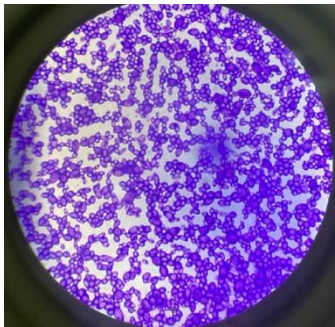
Из 16 исследованных субстратов морского генеза (смывы со стекол с морской водой, водоросли) выделены культуры, на основе полученных данных сформирован атлас, представленный в табл. 2.

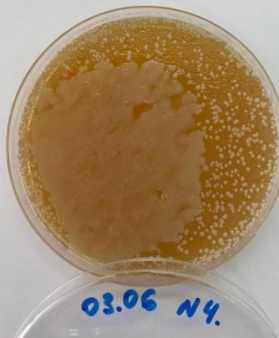
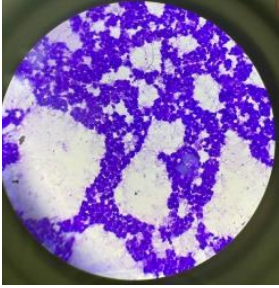
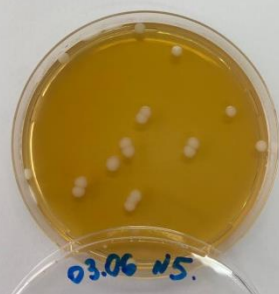
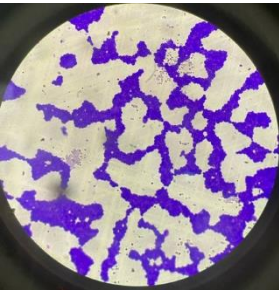
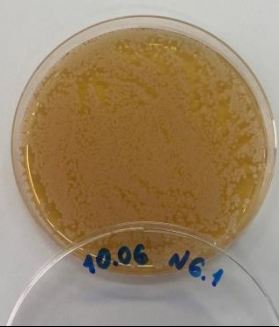
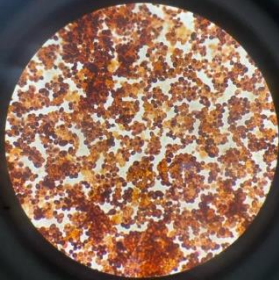
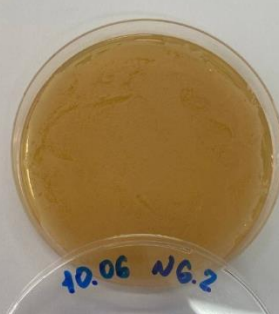
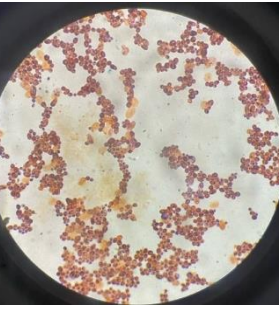
Таблица 2

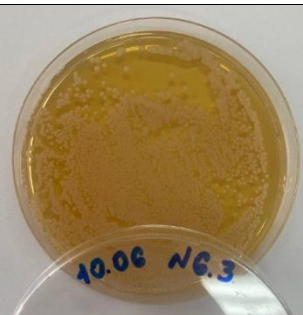
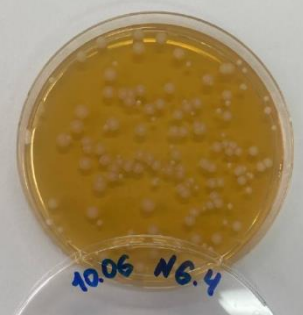
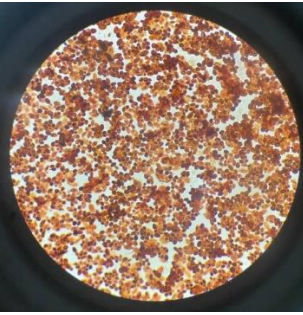
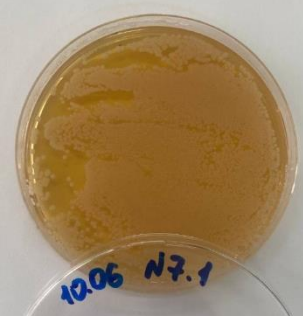
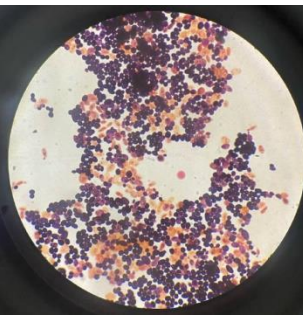
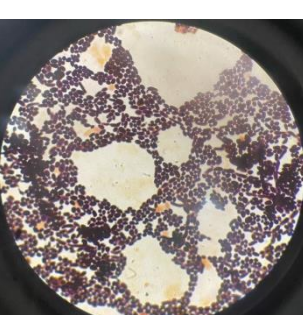
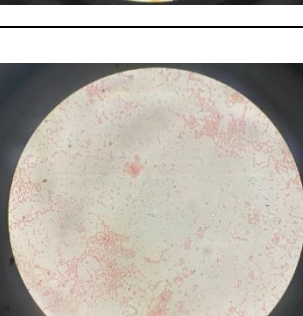
Атлас культур, выделенных из исследованных субстратов морского генеза

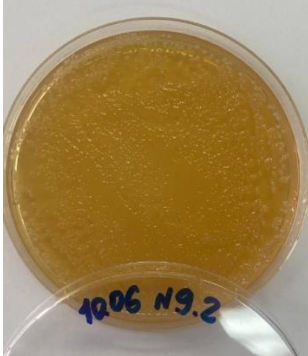
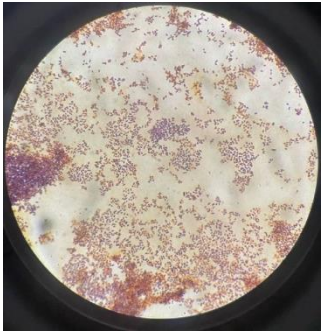
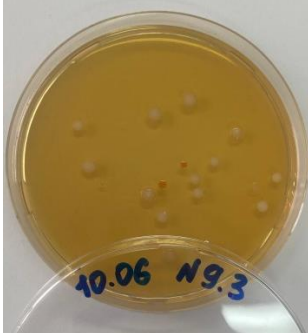
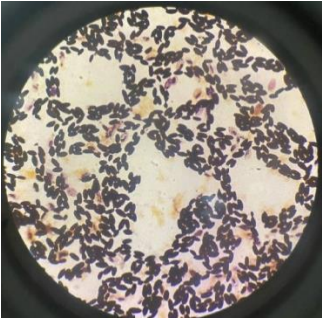
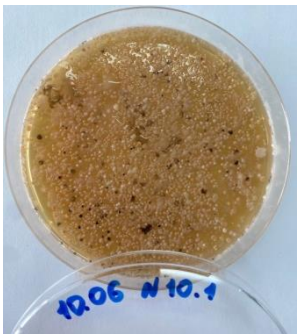
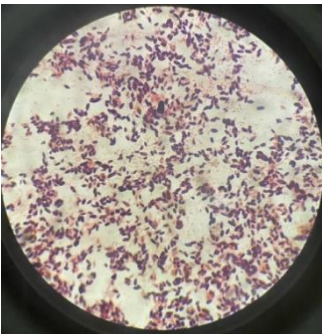
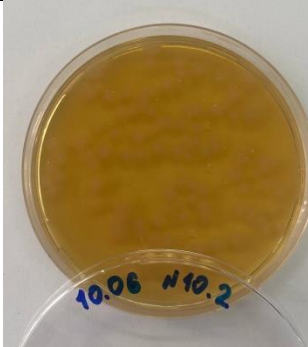
Table 2

Atlas of cultures isolated from the studied substrates of marine genesis

№ образца	Описание культурального роста	Культуральный рост	Микроскопическая картина ×100*
1	Затянутый, полупрозрачный мицелиальный рост; три колонии ризоидной формы, профиль бугристый		Окраску не производили**
2	Белые колонии, округлые, поверхность гладкая, матовая, профиль выпуклый		

3	Колонии мицелиальных грибов, серо-белого цвета, нитевидной формы; единичные, точечные колонии белого цвета, матовые	 N3 28.05.	Окраску не производили
4	Многочисленное количество мелких колоний белого цвета, с блестящей поверхностью; одна колония неправильной формы, занимающая большую поверхность чашки; три единичные колонии розового цвета	 03.06 N4.	
5	Круглые колонии белого цвета, матовые, с ровными краями	 03.06 N5.	
6.1	Сплошной рост, бежевого цвета, матовая поверхность, изолированные колонии круглой формы, с ровными краями	 10.06 N6.1	
6.2	Сплошной рост, бежевого цвета, матовая поверхность <i>Отмечено газообразование, при накоплении культуры на бульоне Сабуро</i>	 10.06 N6.2	

6.3	Сплошной рост, бежевого цвета, матовая поверхность, изолированные колонии круглой формы, с ровными краями <i>Отмечено газообразование, при накоплении культуры на бульоне Сабуро</i>		
6.4	Единичные колонии, концентрической формы, полупрозрачные, с белым центром <i>Отмечено газообразование, при накоплении культуры на бульоне Сабуро</i>		
7.1	Сплошной рост, бежевого цвета, матовая поверхность, изолированные колонии круглой формы, с ровными краями		
8.1	Единичные колонии, белого цвета, матовые, профиль конусный		
9.1	Отдельные колонии, с неровными краями, полупрозрачные, с центром		

9.2	Сплошной рост, отдельные колонии, круглые, полупрозрачные, слизистые		
9.3	Белые, матовые, сухие колонии (9 шт.); белые, блестящие (5 шт.); две колонии розового цвета, глянцевые <i>Отмечено газообразование, при накоплении культуры на бульоне Сабуро</i>		
10.1	Смешанная культура из колоний бежевого, белого, черного, розового цвета, округлой формы, с блестящей поверхностью; колонии коричневого цвета, неправильной формы <i>Отмечено газообразование, при накоплении культуры на бульоне Сабуро</i>		
10.2	Отдельные колонии, с неровными краями, полупрозрачные, с центром; точечные колонии, круглой формы, белого цвета		

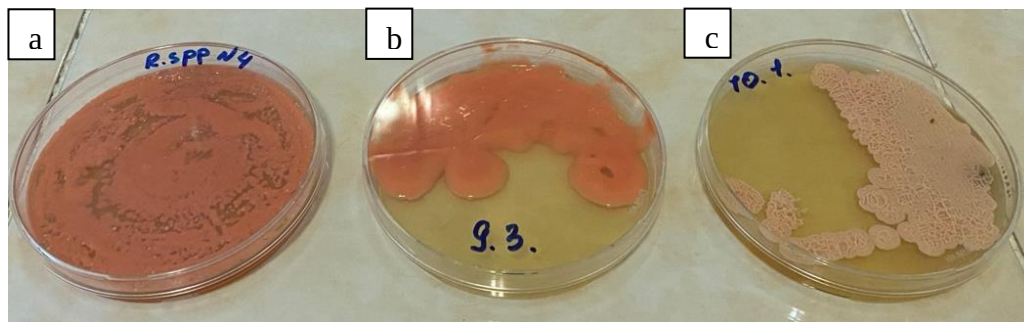
*Примечание.**Образцы 2, 4, 5 – окраска метиленовым синим; образцы 6.1–10.3 – окраска по Граму, поскольку культура смешанная; **окраску не производили, поскольку колонии не идентифицированы как дрожжевые, в остальных случаях мазки готовили из единичных колоний, свойственных дрожжам.

Стоит отметить, что при окрашивании мазков по Граму [14] образцов 6.1–6.4 выявлены клетки дрожжевой формы, окрашенные в желто-коричневый цвет, что может быть вызвано накоплением внутри клеток гликогена, который при обработке раствором по Бурке [14] окрашивается в коричневый цвет, а сами клетки дрожжей приобретают желтоватый оттенок.

В совокупности результатов изученных культуральных и морфологических признаков отмечен рост дрожжевых культур различного видового состава. Рост искомой формы дрожжей

Rhodotorula spp. отмечен по характерным культуральным признакам и выделен со смывов стекол обрастания с морской водой бухты Северной, зал. Славянский, Японское море (образец № 4); с водоросли Ульва лактука (лат. *Ulva lactuca*) (образец № 9.3) бухты Восток, зал. Восток, Японское море; с водоросли Ульва лактука (лат. *Ulva lactuca*) (образец № 10.1) бухты Авангард, зал. Восток, Японское море.

Отмеченные колонии, характерные для дрожжей *Rhodotorula spp.*, откололи с помощью микробиологической петли на бульон Сабуро для накопления и последующего выделения культуры (рисунок).



Выделенные культуры дрожжей *Rhodotorula spp.*: а – морская вода бухты Северной, зал. Славянский, Японское море, глубина 5 м; б – Ульва лактука (лат. *Ulva lactuca*) бухты Восток, зал. Восток, Японское море; с – Ульва лактука (лат. *Ulva lactuca*) бухты Авангард, зал. Восток, Японское море [фото авторов]

Isolated yeast cultures of *Rhodotorula spp.*: а – seawater b. Severnaya, hall. Slavyansky, Sea of Japan, depth 5 m; б – *Ulva lactuca* (Latin *Ulva lactuca*) b. Vostok, hall. East, Sea of Japan; с – *Ulva lactuca* (Latin *Ulva lactuca*) b. Avangard, hall. East, Sea of Japan [photos of the authors]

Таким образом, в ходе микробиологического исследования при изучении распределения дрожжевых сообществ из 16 взятых проб морской воды и водорослей мелководно-прибрежной зоны Японского моря выделено 3 дрожжевые культуры *Rhodotorula spp.* На основе данных рисунка можно отметить некоторые отличительные признаки в характере культурального роста, выраженные в вариативности цвета колоний (от нежно-розового до кораллового), степени их обводненности (слизистые или сухие), формы (округлая или неправильная) и поверхности (гладкая или морщинистая).

Заключение

Результаты микробиологического анализа распределения дрожжевых сообществ в зависимости от места и глубины отбора проб морской воды и водорослей показали, что частота их встречаемости составляет 87,5 %, при этом 21 % из них – искомый вид *Rhodotorula*. В зависимости от изучаемых факторов распределения дрожжевых сообществ, таких как место отбора проб и вид водорослей, установлено, что самыми распространенными источниками выделения дрожжей *Rhodotorula spp.* оказались: заливы Славянский и Восток Японского моря и водоросли Ульва лактука (лат. *Ulva lactuca*). Анализ полученных результатов показывает, что распределение дрожжевых сообществ зависит в большей степени не от глубины, а от места отбора проб.

Таким образом, совокупность результатов наших исследований согласуется с материалом из литературных источников, приведенным в вводной части статьи. Полученные нами сведения дополняют информацию о распределении дрожжевых сообществ, в зависимости от места и глубины отбора проб морской воды и водорослей, что впоследствии может быть использовано при разработке кормовых препаратов пробиотической направленности для объектов аквакультуры.

Список источников

1. Новожилова М. И. Количественная характеристика, видовой состав и распространение дрожжевых организмов в Черном, Охотском морях и Тихом океане // Труды Ин-та микробиол. АН СССР. 1955. Т. 4. С. 155.
2. Новожилова М. И., Попова, Л. Е. Некоторые данные о микрофлоре водной толщи Каспийского моря : тез. докл. 14-й науч. конф. по биол. основам рыбного хозяйства республик Средней Азии и Казахстана. Ашхабад. 1974. 141 с.
3. Fell J. W. Distribution of yeasts in the Indian Ocean // Bull. mar. Sci. Gulf Carrib. 1967. Vol. 17. P. 454–470.
4. Новожилова М. И. Аспорогенные дрожжи и их роль в водоемах. Алма-Ата : Наука, 1979. 201 с.
5. Suehiro S. Studies on the marine yeasts. II. Yeasts isolated from *Thalassiosira subtilis* (marine diatom) decayed in flasks // Sci. Bull. Fac. Agric. Kyushu Univ. 1962. Vol. 20. P. 101–105.
6. Suehiro S., Tomiyasu V. Studies marine Yeasts. VI. On some physiological properties of the isolates // J. of Fac. of Agric. Kyushu Univ. 1964. Vol. 13, № 1. P. 213–225.
7. Надсон Г. А., Бургвиц, Г. Дрожжи Северного Ледовитого океана. ДАН СССР. 1931. № 4. С. 103.
8. Uden N., Castelo-Branco R. Metschnikowiella zobellii sp. nov. and M. krissii sp. nov., two yeasts from the Pas. Ocean pathogenic for *Daphnia magna* // J. Gen. Microbiol. 1961. Vol. 26, № 1. P. 141–148.
9. Roth F. J., Ahearn D. G. Ecology and Taxonomy of yeasts isolated from various marine substrates // Limn. Oceanogr. 1962. № 7. P. 178–185.
10. Seshadri R., Sieburth, J. Seaweeds as a Reservoir of Candida Yeasts in Inshore Waters // Marine Biology. 1975. Vol. 30. P. 105–117.
11. Матросова И. В., Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л., Политаева А. А. Морские биотопы Дальневосточного бассейна – источник выделения дрожжей *Rhodotorula spp.* // Научные труды Дальрыбвтуза. 2024. Т. 70, № 4. С. 148–157.
12. Матросова И. В., Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л., Политаева А. А. Дрожжи *Rhodotorula*, выделенные из водных биоресурсов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 71, № 1. С. 166–173.
13. Нетрусов, А. И., Егорова, М. А., Захарчук, Л. М. Практикум по микробиологии : учебное пособие для студентов высших учебных заведений. М. : Изд. центр Академия, 2005. С. 217–320.
14. Егоров Н. С. Руководство к практическим занятиям по микробиологии : практ. пособие; под ред. Н.С. Егорова. 2-е изд. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1983. 215 с.

Сведения об авторах

- И. В. Матросова – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой «Водные биоресурсы и аквакультура».
- Е. М. Панчишина – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания».
- Н. Л. Корниенко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология продуктов питания».
- А. А. Политаева – руководитель Научно-производственного департамента марикультуры.

Information about the authors

- I. V. Matrosova – PhD in Biological Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Aquatic Bioresources and Aquaculture.

E. M. Panchishina – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology.

N. L. Kornienko – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Technology.

A. A. Politaeva – Head of the Scientific and Production Department of Mariculture.

Статья поступила в редакцию 01.03.2026; одобрена после рецензирования 17.03.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 01.03.2026; approved after reviewing 17.03.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Матросова И. В., Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л., Политаева А. А., 2026.

«Дрожжи *Rhodotorula*, выделенные из морских биотопов и водорослей Японского моря» [Матросова И. В., Панчишина Е. М., Корниенко Н. Л., Политаева А. А.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научная статья

УДК 639.2+639.3+574.58

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-18

EDN: RNBPVG

Синергетический эффект фитогормонов разных классов на рост и биохимический состав *Chaetoceros muelleri* (Lemmermann, 1898)

Евгений Валерьевич Михеев¹, Светлана Евгеньевна Лескова²,
Николай Николаевич Ковалев³

^{1,3} Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

^{2,3} Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹ zhenyasuper79@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3433-5653

² svetaleskova@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7058-3449

³ kovalevnn61@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7100-7208

Аннотация. Приводится результат одновременного введения в культуральную среду, в процессе выращивания микроводоросли *Chaetoceros muelleri*, двух фитогормонов – салициловой и индол-3-масляной кислот. В ходе исследования рассмотрено воздействие использованных гормонов на содержание основных биохимических элементов, белка, углеводов, липидов и хлорофилла в культуре микроводоросли. Установлено, что введение смеси исследованных фитогормонов не приводило, в сравнении с контрольной группой, к увеличению пролиферации клеток. В работе показано, что одновременное внесение двух фитогормонов приводило как к росту, так и к снижению содержания рассмотренных биохимических компонентов в культуре *Chaetoceros muelleri*. Стимуляция синтеза углеводов отмечена на 3-и сутки культивирования. Дальнейшее культивирование приводило к снижению содержания углеводов в экспериментальной группе, по сравнению с контролем. Установлено, что внесение смеси фитогормонов приводило к увеличению содержания липидов в культуре микроводоросли в 1,7 раза по истечении 7 дней выращивания, по сравнению с контрольной группой. При этом содержание липидов в экспериментальной группе превышало их содержание в контрольной группе на протяжении всего времени эксперимента. Внесение фитогормонов ингибировало накопление белка и хлорофилла в течение всего времени культивирования. Также в статье проведено сравнение влияния введения как смеси рассмотренных гормонов, так и каждого гормона в отдельности на рост и константы продуктивности культуры микроводоросли *Chaetoceros muelleri*.

Ключевые слова: *Chaetoceros muelleri*, биохимический состав, фитогормоны, салициловая кислота, индол-3-масляная кислота

Для цитирования: Михеев Е. В., Лескова С. Е., Ковалев Н. Н. Синергетический эффект фитогормонов разных классов на рост и биохимический состав *Chaetoceros muelleri* (Lemmermann, 1898) // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 164–175.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Synergistic effect of phytohormones of different classes on growth and biochemical composition of *Chaetoceros muelleri* (Lemmermann, 1898)**Evgeny V. Mikheev¹, Svetlana E. Leskova², Nikolai N. Kovalev³**^{1,3} Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia^{2,3} Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia¹ zhenyasuper79@mail.ru, ORCID: 0000-0003-3433-5653² svetaleskova@mail.ru, ORCID: 0000-0001-7058-3449³ kovalevnn61@yandex.ru, ORCID: 0000-0001-7100-7208

Abstract. This article presents the results of the simultaneous introduction of two phytohormones – salicylic acid and indole-3-butyric acid – into the culture medium during cultivation of the microalga *Chaetoceros muelleri*. The study examined the effects of the hormones on the levels of key biochemical elements – protein, carbohydrates, lipids, and chlorophyll – in the microalgae culture. It was found that the introduction of the studied phytohormones did not result in increased cell proliferation compared to the control group. The study demonstrated that the simultaneous application of two phytohormones resulted in both an increase and a decrease in the levels of the biochemical components examined in the *Chaetoceros muelleri* culture. Stimulation of carbohydrate synthesis was observed on the third day of cultivation. Further cultivation resulted in a decrease in carbohydrate content in the experimental group compared to the control. It was found that the addition of a phytohormone mixture resulted in a 1.7-fold increase in lipid content in the microalgae culture after 7 days of cultivation, compared to the control group. Furthermore, lipid content in the experimental group exceeded that in the control group throughout the entire experiment. The addition of phytohormones inhibited protein and chlorophyll accumulation throughout the entire cultivation period. The article also compares the effects of both a mixture of the hormones examined and each hormone individually on the growth and productivity of the microalgae culture *Chaetoceros muelleri*.

Keywords: *Chaetoceros muelleri*, biochemical composition, phytohormones, salicylic acid, indole-3-butyric acid

For citation: Mikheev E. V., Leskova S. E., Kovalev N. N. Synergistic effect of phytohormones of different classes on growth and biochemical composition of *Chaetoceros muelleri* (Lemmermann, 1898). *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):164–175. (In Russ.).

Введение

На сегодняшний день некоторые виды микроводорослей являются центральным кормовым компонентом в процессе культивирования различных представителей двустворчатых моллюсков, таких как гребешок, мидии, устрицы, а также ракообразных и рыб в аквакультурных хозяйствах.

Такой вид, как *Chaetoceros muelleri*, за счет повышенного содержания липидов с уникальным жирнокислотным составом нашел широкое применение в качестве корма для объектов марикультуры на ранних стадиях развития [1, 2, 3, 4].

C. muelleri также была признана одной из наиболее подходящих микроводорослей для крупномасштабного культивирования в бассейнах открытого типа для коммерческого использования [5, 6].

Технология производства биомассы микроводорослей – многоступенчатый и экономически затратный процесс. Одним из путей повышения продуктивности процесса культивирования является использование экзогенных фитогормонов [7].

Фитогормоны играют важную роль в метаболизме растительных клеток, стимулируя их деление и эффективность фотосинтеза, тем самым увеличивая плотность культуры, содержание липидов, белка и пигментов [8].

Оценке влияния отдельных фитогормонов на рост и биохимический состав *Chaetoceros muelleri* посвящено мало работ. В ранее проведенных исследованиях установлено влияние салициловой кислоты (СК) на увеличение количества клеток в культуре *Ch. muelleri*, по сравнению с контрольной группой, а также на повышение содержания белка и липидов [9]. Использование индол-3-уксусной кислоты также приводило к увеличению содержания клеток в культуре. При этом введение индол-3-масляной кислоты (ЗИМК) в культуру *Ch. muelleri* обуславливало увеличение содержания белка, углеводов и липидов, по сравнению с контрольной группой, на различных временных отрезках культивирования [10].

Стоит отметить, что остаются мало изученными процессы модерации в микроводорослевых клетках, что обуславливает углубление исследований в отношении фитогормонов эндогенного происхождения [11].

При этом синергический эффект фитогормонов различной химической структуры, их влияние на рост микроводорослей и продукционные характеристики носит спорадический характер [12].

Необходимо рассмотреть сочетанное воздействие стимуляторов на плотность клеток и содержание основных биохимических компонентов в культуре микроводорослей в сравнении с воздействием раздельного внесения.

Цель работы заключалась в определении влияния совместного действия двух фитогормонов разных классов на показатели увеличения плотности клеток, а также на содержание биохимических компонентов в культуре *Chaetoceros muelleri* в процессе выращивания.

Объекты и методы исследований

В работе использовали культуру микроводоросли *Chaetoceros muelleri* из коллекции НПДМ ФГБОУ ВО «Дальрыбвтуз». Водоросль выращивали в накопительном режиме на питательной среде f/2, которую готовят на основе фильтрованной и стерилизованной морской воды с добавлением растворов основных минеральных солей (NaNO_3 ; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$), микроэлементов ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$; ЭДТА- Na_2 ; $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) и витаминов (B1; B7; B12) [13]. Культура водорослей содержалась при постоянных условиях: температуре 21–23 °C, освещенности 8–10 клк, фотопериоде 8 : 16 ч (свет : темнота) и периодическом перемешивании (4–5 раза в сутки).

В качестве стимуляторов роста использовали салициловую (СА) и индол-3-масляную (ЗИМК) кислоты (Hebei Guanlang Biotechnology Co., Ltd, China). Эффективные концентрации стимуляторов были определены в ранее проведенных исследованиях [9, 10] и составляли для культуры *Chaetoceros muelleri* $2,8 \times 10^{-7}$ М в случае салициловой кислоты и $0,4 \times 10^{-5}$ М в случае индол-3-масляной кислоты.

В качестве культиваторов использовались стерильные стеклянные термостойкие конические колбы объемом 1 л. В колбы в начале эксперимента наливали 400 мл фильтрованной и стерилизованной морской воды, 100 мл культуры водорослей и стимулятор в исследуемых концентрациях. Одна колба была контрольной, т.е. культура росла без добавления стимулятора роста.

Культивирование осуществляли в монокультуре. Динамику роста клеточных культур исследовали с помощью светового микроскопа. Рост плотности культуры водорослей определяли по увеличению числа клеток, просчитанных в каждом опыте в камере Горяева под световым микроскопом. Продолжительность эксперимента составляла 14 дней.

Общее содержание углеводов оценивали методом кислотного гидролиза проб взвеси водорослей, за счет чего образовавшиеся моносахаридные единицы переходят в фурфурольные производные, которые при добавлении в раствор L-триптофана образуют окрашенные комплексы, поглощающие свет при длине волны 540 нм [14].

Пробоподготовку для определения белка проводили согласно [15]. Определение содержания белка проводили методом [16].

Общее содержание липидов проводили методом, в основе которого лежит цветная реакция ванилина в кислой среде с липидами с образованием интенсивного окрашивания. Хромогенными группами выступают гидроксильные и карбонильные [17].

Сумму хлорофиллов выделяли методом экстракции ацетоном из предварительно замороженной биомассы водорослей [18]. Количественное содержание хлорофиллов определяли спектрофотометрически при длинах волн 630, 647, 664 и 750 нм. В качестве контроля использовали 90 % ацетон [19].

Расчет скорости роста популяции (R), количества делений в сутки (K) и времени удвоения популяции (T2) производили, как указано в [20].

Расчет продуктивности проксимального состава определяли, как описано в [21], отнесенную на 1 млн клеток культуры.

Обработка результатов проводилась с использованием программного обеспечения Excel и STATISTICA® 7.0, определяя стандартное отклонение и доверительный интервал в трех повторениях экспериментов. Среднюю квадратичную ошибку определяли с учетом доверительного интервала $\Delta = \pm 5\%$ и надежности $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение

На начальном этапе исследования определено влияние на плотность культуры *Chaetoceros muelleri* внесения двух различных фитогормонов. Рассматриваемые фитогормоны (салициловая кислота и индол-3-масляная кислота) вводились в культуру одновременно на старте эксперимента, продолжительность которого составляла 14 дней. Графики изменения плотности клеток микроводоросли *Ch. muelleri*, культивируемой в среде без фитогормонов и в среде с внесением двух рассмотренных фитогормонов, представлены на рис. 1.

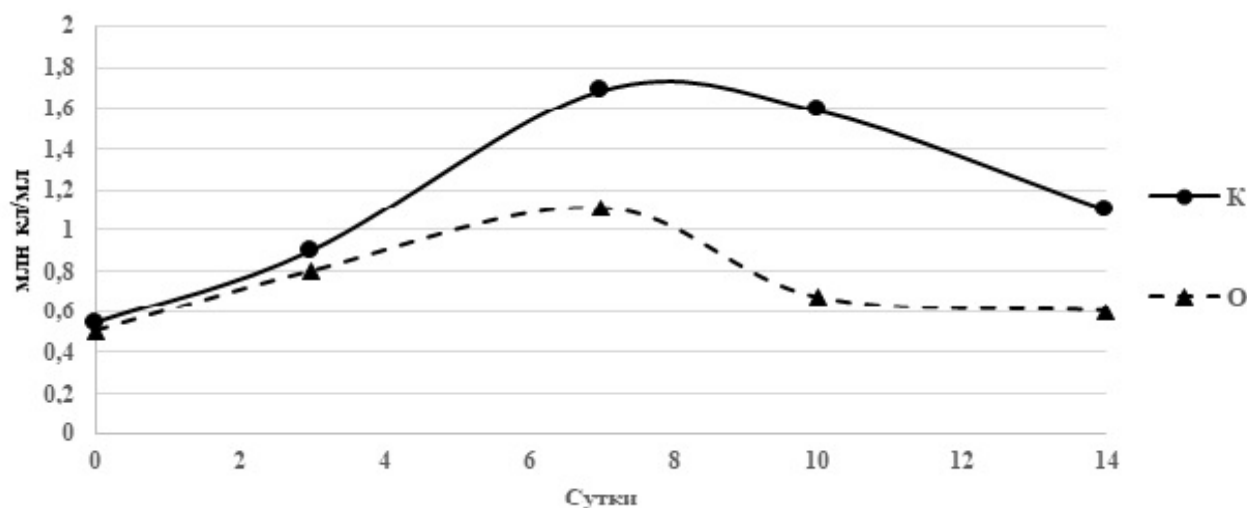


Рис. 1. Влияние на динамику плотности микроводоросли *Chaetoceros muelleri* в накопительной культуре внесения $2,8 \times 10^{-7}$ М салициловой кислоты и $0,4 \times 10^{-5}$ М индол-3-масляной кислоты (O), по сравнению с контролем (K). Составлено авторами

Fig. 1. Effect on the dynamics of the density of the microalgae *Chaetoceros muelleri* in the accumulation culture of the addition of $2,8 \times 10^{-7}$ M salicylic acid and $0,4 \times 10^{-5}$ M indole-3-butyric acid (O), compared to the control (K). Compiled by the authors

Следует отметить, что рост плотности культуры в контрольной группе наблюдался в течение 7 сут эксперимента. Количество клеток в культуре к данному отрезку времени в 3,1 раза превышало стартовое значение и составляло 1,69 млн клеток в миллилитре культуры. Затем наблюдалось снижение количества клеток в культуре *Ch. muelleri* и к моменту завершения времени эксперимента, 14 дней, оно составляло 1,1 млн клеток в миллилитре культуры (см. рис. 1). Возможно предположить, что такое колебание плотности культуры связано со сменой генераций.

В культуре, выращенной в среде с внесением фитогормонов, также отмечен рост плотности клеток в течение первых 7 сут исследования. Количество клеток в культуре после 7 сут эксперимента составляло 1,1 млн клеток в миллилитре культуры, что в 2,2 раза выше стартового показателя.

Дальнейшее культивирование сопровождалось резким снижением плотности культуры до практически исходных значений (рис. 1).

Следует отметить, что максимальное подавление роста культуры на 7-е сут культивирования составило 65,7 %, а на 10-е сут – на 42,1 %.

Влияние смеси двух гормонов на константы роста культуры представлено в табл. 1.

Таблица 1

Влияние на константы роста в накопительной культуре *Chaetoceros muelleri* внесения $2,8 \times 10^{-7}$ М салициловой кислоты и $0,4 \times 10^{-5}$ М индол-3-масляной кислоты (О), по сравнению с контролем (К)

Table 1

Effect on growth constants in the accumulative culture of *Chaetoceros muelleri* of the introduction of $2,8 \times 10^{-7}$ M salicylic acid and $0,4 \times 10^{-5}$ M indole-3-butyric acid (O), compared with the control (K)

	Период, сут	R (Удельная скорость роста, сутки ⁻¹)	K (количество делений в день)	T2 (время удвоения популяции)
К	0–3	0,18	0,26	3,8
	3–7	0,16	0,23	4,3
	0–7	0,17	0,24	4,1
О	0–3	0,14	0,2	4,9
	3–7	0,08	0,12	8,7
	0–7	0,11	0,16	6,3

Расчет констант роста опытной и экспериментальной культур (табл. 1) показывает, что смесь фитогормонов оказывает ингибирующее влияние на процесс деления клеток (К) и время удвоения популяции (T2) в период активного роста (7 сут).

В ходе эксперимента также проводилась оценка влияния сочетанного воздействия салициловой кислоты и индол-3-масляной кислоты на содержание основных биохимических компонентов в культуре *Ch. muelleri*.

На рис. 2 представлены данные по содержанию белка в экспериментальной и контрольной культурах *Ch. muelleri* в процессе исследования.

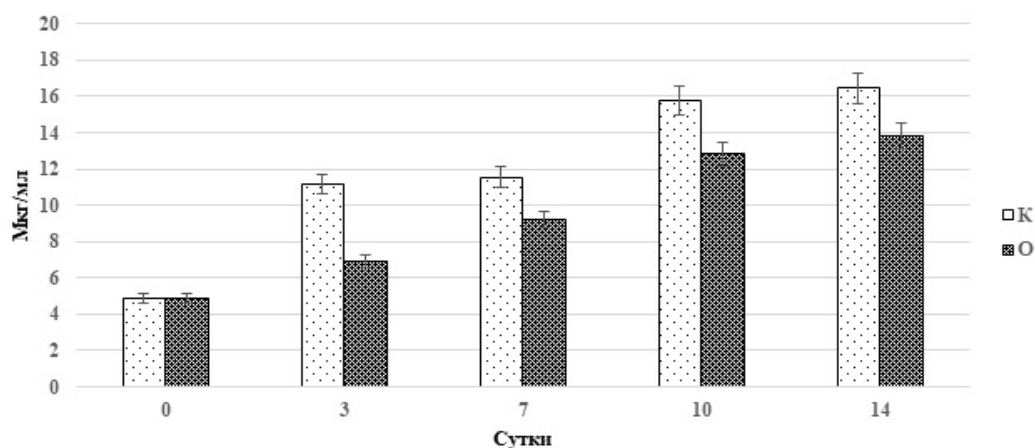


Рис. 2. Динамика накопления белка в культуре *Chaetoceros muelleri* при внесении $2,8 \times 10^{-7}$ М салициловой кислоты и $0,4 \times 10^{-5}$ М индол-3-масляной кислоты (О), по сравнению с контролем (К).

Составлено авторами

Fig. 2. Dynamics of protein accumulation in *Chaetoceros muelleri* culture upon addition of $2,8 \times 10^{-7}$ M salicylic acid and $0,4 \times 10^{-5}$ M indole-3-butyric acid (O), compared to the control (C).

Compiled by the authors

Исходя из данных, полученных в процессе исследования, следует отметить, что рост концентрации белка наблюдался как в контрольной, так и в опытной группах на протяжении всего времени эксперимента, 14 сут. Увеличение данного показателя в контрольной группе составило 3,4 раза, в группе, выращенной с добавлением смеси фитогормонов, 2,8 раза, по сравнению со стартовыми значениями. При этом концентрация белка в обеих экспериментальных группах возрастала с 10-х по 14-е сут незначительно. Следует отметить, что в контрольной группе концентрация белка на 3-и и 7-е, а также на 10-е и 14-е сут была практически одинаковой, в то время как в опытной группе увеличение содержания белка в культуре было более выражено.

Динамика накопления углеводов в контрольной группе показывает рост их концентрации в первые 10 сут культивирования в 3,1 раза по сравнению с концентрацией в исходной культуре и снижение до исходных значений к 14-м сут культивирования (рис. 3).

Смесь фитогормонов оказывала стимулирующий эффект на накопление углеводов только в первые трое суток культивирования. Выражением этого эффекта стало увеличение их содержания в 2,3 раза, по сравнению с контрольной группой (рис. 3).

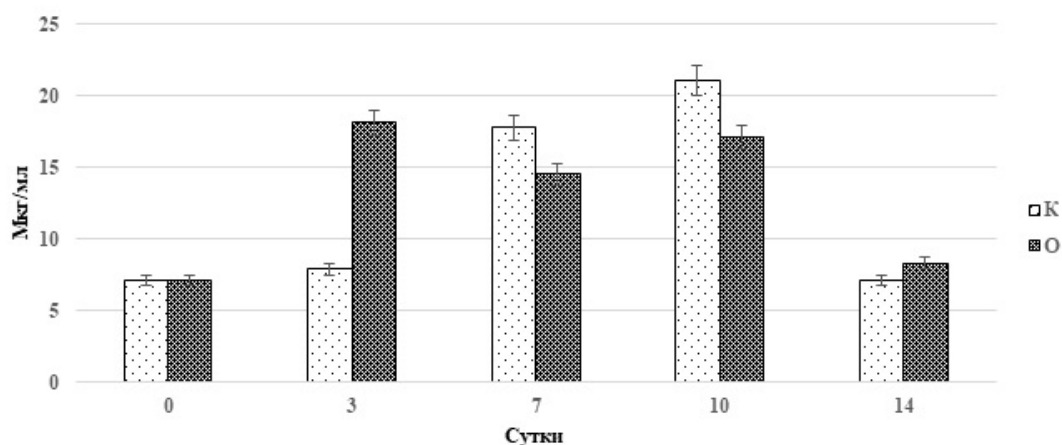


Рис. 3. Динамика накопления углеводов в культуре *Chaetoceros muelleri* при внесении $2,8 \times 10^{-7}$ М салициловой кислоты и $0,4 \times 10^{-5}$ М индол-3-масляной кислоты (О), по сравнению с контролем (К). Составлено авторами

Fig. 3. Dynamics of carbohydrate accumulation in *Chaetoceros muelleri* culture upon application of $2,8 \times 10^{-7}$ M salicylic acid and $0,4 \times 10^{-5}$ M indole-3-butyric acid (O), compared to the control (C).

Compiled by the authors

Дальнейшее культивирование не приводило к значительным различиям концентрации углеводов между контрольной и опытной группами, и на момент окончания эксперимента значение данного показателя снижалось в обеих группах практически до стартовых значений (рис. 3).

Концентрация липидов в сухой массе микроводорослей составляет 20–50 % и может значительно увеличиваться в условиях стресса и воздействия стимуляторов [22].

Данные проведенного исследования показывают, что максимальный рост, в 3,5 раза по сравнению с начальными значениями, содержания липидов в контрольной группе отмечен на 3-и сут эксперимента. Однако дальнейшее культивирование показывает тенденцию к снижению данного показателя практически до значений стартовой культуры (рис. 4).

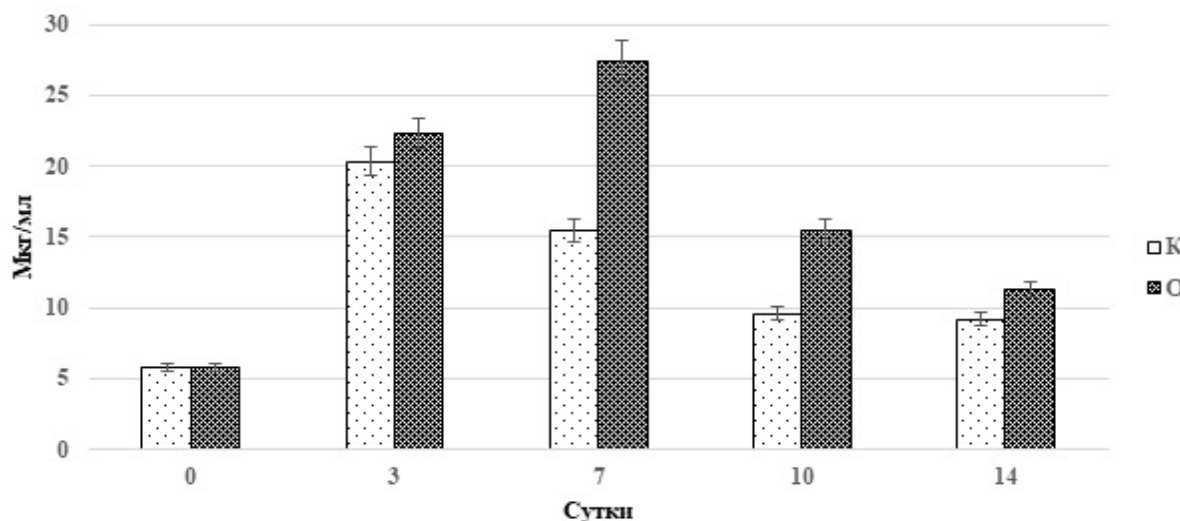


Рис. 4. Динамика накопления липидов в культуре *Chaetoceros muelleri* при внесении $2,8 \times 10^{-7}$ М салициловой кислоты и $0,4 \times 10^{-5}$ М индол-3-масляной кислоты (О), по сравнению с контролем (К). Составлено авторами

Fig. 4. Dynamics of lipid accumulation in *Chaetoceros muelleri* culture upon addition of $2,8 \times 10^{-7}$ M salicylic acid and $0,4 \times 10^{-5}$ M indole-3-butyric acid (O), compared to the control (C).

Compiled by the authors

Выявлено стимулирующее влияние смеси фитогормонов на концентрацию липидов. Так, к 7-м сут культивирования концентрация липидов в опытной группе составила 27,5 мкг/мл, что на 77,6 % больше, чем в контрольной группе. В остальные временные точки культивирования достоверных различий между контрольной и опытной группами не выявлено (рис. 4).

В ходе исследований проведена оценка динамики содержания хлорофилла как важного показателя метаболической активности растительных клеток в культуре, исследуемой микроводорсли.

Экспериментально выявлено, что динамика концентрации хлорофилла в контрольной группе имеет 2 пика на 7-й и 14-й день культивирования (рис. 5).

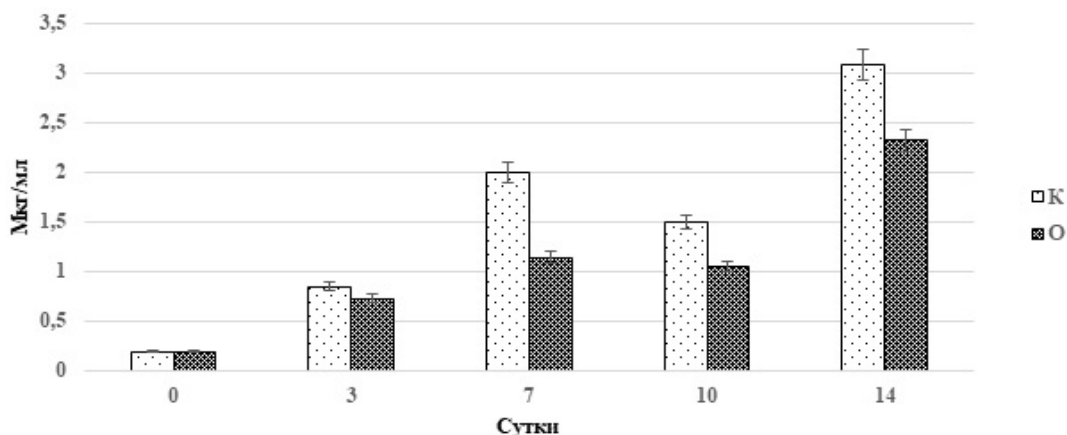


Рис. 5. Динамика накопления хлорофилла в культуре *Chaetoceros muelleri* при внесении $2,8 \times 10^{-7}$ М салициловой кислоты и $0,4 \times 10^{-5}$ М индол-3-масляной кислоты (О), по сравнению с контролем (К). Составлено авторами

Fig. 5. Dynamics of chlorophyll accumulation in *Chaetoceros muelleri* culture upon application of $2,8 \times 10^{-7}$ M salicylic acid and $0,4 \times 10^{-5}$ M indole-3-butyric acid (O), compared to the control (K). Compiled by the authors

Оба пика соответствуют снижению плотности культуры. По-видимому, это связано с обогащением питательной среды отмершими клетками, т.е. со сменой генерации микроводоросли. Причем концентрация хлорофилла на 14-й день культивирования в 1,5 раза больше, чем на 10-й день (рис. 5).

Из полученных данных видно, что смесь салициловой и индол-3-масляной кислот приводила к снижению концентрации хлорофилла в культуре *Ch. muelleri*, по сравнению с контрольной группой. На момент окончания эксперимента содержание данного элемента в опытной группе было в 1,3 раза ниже, чем в контроле (рис. 5).

На рис. 6 приведено сравнение влияния как совместного, так и индивидуального воздействия добавления рассмотренных фитогормонов на концентрацию клеток в культуре *Chaetoceros muelleri*.

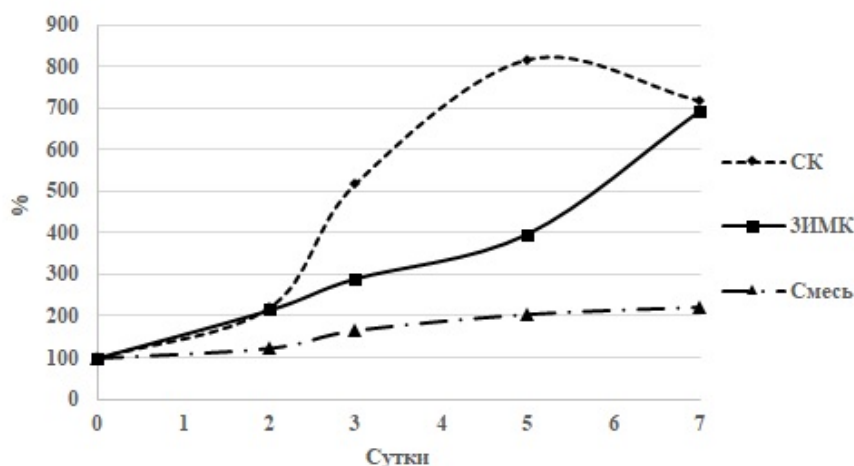


Рис. 6. Прирост плотности культуры *Chaetoceros muelleri* (%) в накопительной культуре под влиянием $2,8 \times 10^{-7}$ М салициловой кислоты (СК), $0,4 \times 10^{-5}$ М индол-3-масляной кислоты (3ИМК) и смеси $2,8 \times 10^{-7}$ М салициловой кислоты и $0,4 \times 10^{-5}$ М индол-3-масляной кислоты (смесь).

Составлено авторами

Fig. 6. Growth of *Chaetoceros muelleri* culture density (%) in a cumulative culture under the influence of $2,8 \times 10^{-7}$ M salicylic acid (SA), $0,4 \times 10^{-5}$ M indol-3-butyric acid (3IBA), and a mixture of $2,8 \times 10^{-7}$ M salicylic acid and $0,4 \times 10^{-5}$ M indol-3-butyric acid (Mixture). Compiled by the authors

Активный рост культуры под действием салициловой кислоты происходит в течение 5 сут культивирования и составляет 816,9 % (рис. 6), что соответствует плотности культуры 2,9 млн кл./мл. Индол-3-масляная кислота оказывала менее выраженный стимулирующий эффект на рост культуры *Ch. muelleri* в течение 5 сут культивирования. Пик роста культуры приходился на 7-е сут культивирования и составлял 691 %. Добавление смеси фитогормонов приводило к росту количества клеток в культуре *Ch. muelleri* в течение 7 сут выращивания. К окончанию эксперимента рост плотности культуры составил 222 %, что соответствует плотности 1,11 млн кл./мл.

Расчет продукционной эффективности культуры позволяет оценить динамику изменения элементарного состава под влиянием условий среды.

Таблица 2

Константы продуктивности накопительной культуры *Chaetoceros muelleri* при внесении $2,8 \times 10^{-7}$ М салициловой кислоты (СК), $0,4 \times 10^{-5}$ М индол-3-масляной кислоты (ИМК) и их смеси в течение 7 сут культивирования

Table 2

Productivity constants of the accumulative culture of *Chaetoceros muelleri* when $2,8 \times 10^{-7}$ M salicylic acid (SA), $0,4 \times 10^{-5}$ M indole-3-butyric acid (IB) and their mixture were added during 7 days of cultivation

		Белок	Углеводы	Липиды
Смесь	К	0,15	0,23	0,20
	О	0,16	0,25	0,48
СК	К	0,16	0,12	0,1
	О	0,17	0,11	0,12
ЗИМК	К	0,16	0,16	0,12
	О	0,14	0,08	0,2

Проведенными экспериментами показана динамика снижения продукции белка и липидов контрольной группы к 7-м сут культивирования (табл. 2).

Расчет констант продуктивности культуры *Ch. muelleri* показал отсутствие влияния СК на продукционные характеристики. В то же время введение в культуру ЗИМК вызывало 2-кратное снижение продукции углеводов и повышение продукции липидов на 66 %. Введение смеси гормонов оказывало влияние только на продукцию липидов, что способствовало увеличению константы продуктивности в 2,4 раза (табл. 2).

Заключение

Таким образом, в ходе работ установлено, что смесь двух фитогормонов, салициловой и индол-3-масляной кислот, оказывала подавляющее действие на ростовые показатели культуры микроводоросли *Ch. muelleri*. Также показано разнонаправленное действие смеси исследованных фитогормонов на биохимический состав культуры. При этом необходимо отметить, что смесь использованных гормонов оказывала стимулирующее действие на содержание липидов в культуре *Ch. muelleri*, что может указывать на окончание этапа роста количества клеток в культуре.

В ходе проведенных работ совместное применение исследованных фитогормонов, в их оптимальных концентрациях, не показало положительного стимулирующего эффекта, что было выявлено ранее в экспериментах с их индивидуальным внесением в культуру микроводоросли. Близкие результаты были получены для сочетанного действия ауксина и цитокинина

на микроводоросль *Montrella alpina* [23] и индолуксусной кислоты и зеатина на *Acutodesmus obliquus* [24]. Отмечено, что сочетанное действие фитогормонов способствовало снижению выработки липидов от 54 до 77 %. В то же время оценка сочетанного влияния трех фитогормонов (жасмонат, гиббереллиновая кислота, кинетин) в течение 24 ч на *Aurantiochytrium sp.* SW1 повышало продукцию докозогексаеновой кислоты на 126 % [12].

Полученные результаты указывают на то, что можно манипулировать регуляторными механизмами биосинтеза липидов в микроводорослях, добавляя фитогормоны в питательную среду, и что стимуляция имеет временную зависимость.

Модуляция продуктивности микроводорослей, опосредованная фитогормонами через механизм биохимических каскадов, по-видимому, определяется концентрацией, классом фитогормонов и их синергетическим действием. Изучение механизмов регуляции продуктивности микроводорослей под влиянием экзогенных фитогормонов может быть использовано для разработки рациональных подходов к культивированию микроводорослей.

Список источников

1. Goksan T., Durmaz Y., Gokpinar S. Effects of light path lengths and initial culture density on the cultivation of *Chaetoceros mueller* (Lemmermann, 1898) // *Aquaculture*. 2003. Vol. 217. P. 431–436.
2. Richmond A., Hu Q. Handbook of Microalgal Culture: Applied Phycology and Biotechnology, 2nd Edition. Wiley-Blackwell, 2013. 736 p.
3. Wang X., Liang J. J., Luo C., Chen C., Gao Y. Biomass, total lipid production, and fatty acid composition of the marine diatom *Chaetoceros muelleri* in response to different CO₂ levels // *Biore-source Technology*. 2014. Vol. 161. P. 124–130.
4. Ладыгина Л. В., Пиркова А. В. Культивирование диатомовой водоросли *Chaetoceros Calcitrans* F. *Pumilus* (Paulsen) TAKANO, 1968 – корма для личинок гигантской устрицы *Crassostrea gigas* (Thunberg) // *Морской биологический журн.* 2019. Т. 4. С. 34–40.
5. Becerra-Dorame M., Lopez-Elias J. A., Martinez-Cordova L. R. An alternative outdoor production system for the microalgae *Chaetoceros muelleri* and *Dunaliella sp.* during winter and spring in Northwest Mexico // *Aquacultural Engineering*. 2010. Vol. 43. P. 24–28.
6. Lopez-Elias J. A., Voltolina D., Enriquez-Ocana F., Gallegos-Simental G. Indoor and outdoor mass production of the diatom *Chaetoceros muelleri* in a mexican commercial hatchery // *Aquacultural Engineering*. 2005. Vol. 33. P. 181–191.
7. Gonzalez-Garcinuno A., Sanchez-Alvarez J., Galan M., Martin del Valle E. Understanding and Optimizing the Addition of Phytohormones in the Culture of Microalgae for Lipid Production // *Biotechnology Progress*. 2016. Vol. 32. P. 1203–1211.
8. Wang C., Guo J., Zhou C., Yan X., Ruan R., Cheng P. The Active Phytohormone in Microalgae: The Characteristics, Efficient Detection, and Their Adversity Resistance Applications // *Molecules*. 2021. Vol. 27. P. 46.
9. Ковалев Н. Н., Лескова С. Е., Михеев Е. В. Хетоцерос: модуляция роста и состава под действием салициловой кислоты // *Аграрная Россия*. 2022. № 10. С 13–18.
10. Ковалев Н., Лескова С., Михеев Е., Барсова Е. Оценка влияния ауксинов на рост и биохимические показатели *Chaetoceros muelleri* // *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2024. Vol. 16, № 3. P. 205–226.
11. Shah S., Li X., Jiang Z., Fahad S., Hassan S. Exploration of the phytohormone regulation of energy, storage, compound accumulation in microalgae // *Food and Energy Security*. 2022. Vol. 11. P. 418–434.
12. Nazir Y., Halim H., Prabhakaran P., Ren X., Naz T., Mohamed H., Nosheen S., Mustafa K., Yang W., Hamid A. A., Song Y. Different Classes of Phytohormones Act Synergistically to Enhance the Growth, Lipid and DHA Biosynthetic Capacity of *Aurantiochytrium sp.* SW1 // *Biomolecules*. 2020. Vol. 10. P. 755–773.

13. Guillard, R. R. L. Culture of Phytoplankton for Feeding Marine Invertebrates. In: Smith, M. L. and Chanley, M. H., Eds., Culture of Marine Invertebrates Animals, Plenum Press, New York, 1975. P. 29–60.
14. Laurens L. M. L., Dempster T. A., Jones H. D. T., Wolfrum E. J., Wychen S. V., McAllister J. S. P., Rencenberger M., Parchert K. J., Gloe L. M. Algal Biomass Constituent Analysis: Method Uncertainties and Investigation of the Underlying Measuring Chemistries // Journal of Analytical Chemistry. 2012. Vol. 84, № 4. P. 1879–1887.
15. Herbert D., Phipps P. J., Strange R. E. Chemical analysis of microbial cells // Methods in Microbiology. 1971. № 5. P. 209–344.
16. Lowry O., Rosenbrought N., Parr A., Randall R. Protein measurement with the Folin phenol reagent // Journal of Biological Chemistry. 1951. Vol. 193, № 1. P. 265–276.
17. Johnson K. R., Ellis G., Toothill C. The sulfophosphovanilin reaction for serum lipids: a reappraisal // Clinical Chemistry. 1977. Vol. 23. P. 1669–1673.
18. Carneiro M., Pojo V., Malcata F. X., Otero A. Lipid accumulation in selected *Tetraselmis* strains // Journal of Applied Phycology. 2019. Vol. 31, № 5. P. 2845–2853.
19. Aminot A., Ray F. Standard procedure for the determination of chlorophyll a by spectroscopic methods. ICES techniques in marine environmental sciences // International Council for the Exploration of the Sea, 2001. 16 p.
20. Wood A. M., Everroad R. C., Wingard L. M. Measuring Growth Rates in Microalgal Cultures. In: Andersen R.A. Algal Culturing Technique: Elsevier Academic Press, New York, 2005. P. 269–285.
21. Madani N. S. H., Shekarabi S. P. H., Mehrgan M. S., Pourang N. Can 2, 4-dichlorophenoxyacetic acid alter growth performance, biochemical composition, and fatty acid profile of the marine microalga *Isochrysis galbana*? // Phycologia. 2020. Vol. 59. P. 598–605.
22. Sun X. M., Ren L. J., Zhao Q. Y., Ji X. J., Huang H. Microalgae for the production of lipid and carotenoids: a review with focus on stress regulation and adaptation // Biotechnology for Biofuels. 2018. Vol. 11. P. 272.
23. Zhang H., Wang Z., Feng Y., Cui Q., Song X. Phytohormones as stimulators to improve arachidonic acid biosynthesis in *Mortierella alpine* // Enzyme Microb. Technol. 2019. Vol. 131. 109381.
24. Renuka N., Guldhe A., Singh P., Bux F. Combined effect of exogenous phytohormones on biomass and lipid production in *Acutodesmus obliquus* under nitrogen limitation // Energy Convers. Manag. 2018. Vol. 168. P. 522–528.

Сведения об авторах

Е. В. Михеев – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИИ инновационных биотехнологий, SPIN-код: 1244-4962.

С. Е. Лескова – кандидат биологических наук, доцент кафедры биоразнообразия и морских биоресурсов, SPIN-код: 5124-2384.

Н. Н. Ковалев – доктор биологических наук, главный научный сотрудник НИИ инновационных биотехнологий, профессор, Author ID: 96894.

Information about the authors

E. V. Mikheev – PhD in Technical Sciences, Head Researcher of Research Institute of Innovative Biotechnologies, SPIN-code in RSCI: 1244-4962.

S. E. Leskova – PhD in Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Biodiversity and Marine Bioresources, SPIN-code in RSCI: 5124-2384

N. N. Kovalev – Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher of Research Institute of Innovative Biotechnologies, Professor, Author ID: 96894.

Статья поступила в редакцию 12.03.2026; одобрена после рецензирования 04.04.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 12.03.2026; approved after reviewing 04.04.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Михеев Е. В., Лескова С. Е., Ковалев Н. Н., 2026.

«Синергетический эффект фитогормонов разных классов на рост и биохимический состав *Chaetoceros muelleri* (Lemmermann, 1898)» [Михеев Е. В., Лескова С. Е., Ковалев Н. Н.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научная статья

УДК 639.2; 656.61.052 DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-19

EDN: SEBBEX

Интеллектуальная система управления маневрированием и эксплуатацией кошелькового невода на базе интеграции автономных вспомогательных судов

Александр Алексеевич Недоступ¹, Давид Витальевич Гмырин²

Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

¹ nedostup@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-3851-0984

² david.davidok@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена теоретическому обоснованию концепции повышения эффективности кошелькового промысла пелагических рыб. Проблема низкой эффективности промысла обусловлена преждевременным уходом косяка из кошелькового невода из-за реакции рыбы на гидроакустический шум традиционных дизельных судов, деформации орудия лова подводными течениями и неправильным выбором курсового угла при кошельковании. В работе предложена концепция интеллектуальной системы управления (АСУ) «Автокошелек», координирующей совместные маневры основного сейнера (материнского судна) и автономного вспомогательного судна (АВС) – беспилотного электрического катамарана, базирующегося на штатном месте спасательной шлюпки. На основе непрерывного анализа параметров рыбного косяка (векторов скорости, миграции и реакции на раздражитель) искусственный интеллект (ИИ) системы осуществляет автоматический выбор режима облова и формирует оптимальную навигационную траекторию замета с применением алгоритма Line-of-Sight (LOS). Работа носит теоретический характер и направлена на интеграцию передовых алгоритмов судовождения с биологическими параметрами объекта лова и эксплуатационными характеристиками безэкипажных судов.

Ключевые слова: автоматизированные системы управления, судовождение, кошельковый лов, миграция косяка, влияние раздражителя, искусственный интеллект (ИИ), алгоритм Line-of-Sight, безэкипажное судно

Для цитирования: Недоступ А. А., Гмырин Д. В. Интеллектуальная система управления маневрированием и эксплуатацией кошелькового невода на базе интеграции автономных вспомогательных судов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 176–187.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHING

Original article

Intelligent control system for maneuvering and operation of purse seine based on the integration of autonomous auxiliary vessels**Alexander A. Nedostup¹, David V. Gmyrin²**

Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

¹ nedostup@klgtu.ru, ORCID: 0000-0002-3851-0984² david.davidok@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the theoretical justification of a cyber-physical concept for solving the problem of reduced efficiency in purse seine fishing for pelagic fish. This problem is caused by the premature escape of the school due to the fish's reaction to the hydroacoustic noise of traditional diesel vessels, as well as the deformation of the fishing gear by underwater currents. The paper proposes the concept of an intelligent control system (ACS) "Autopurse", which coordinates the joint maneuvers of the main seiner (mother ship) and an autonomous auxiliary vessel (AVS) – an unmanned electric catamaran based on the standard place of a lifeboat. Based on the continuous analysis of the fish school parameters (velocity vectors, migration, and reaction to stimulus), the artificial intelligence (AI) of the system automatically selects the fishing mode and forms the optimal navigational setting trajectory using the Line-of-Sight (LOS) algorithm. The work is theoretical in nature and is aimed at integrating advanced navigation algorithms with the biological parameters of the target species and the operational characteristics of unmanned vessels.

Keywords: automated control systems, navigation, purse seine fishing, school migration, stimulus influence, artificial intelligence (AI), Line-of-Sight algorithm, unmanned vessel

For citation: Nedostup A. A., Gmyrin D. V. Intelligent control system for maneuvering and operation of purse seine based on the integration of autonomous auxiliary vessels. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026;76(2):176–187. (In Russ.).

Введение

Кошельковый лов является одним из наиболее производительных, но в то же время технически сложных видов промышленного рыболовства [5, с. 112]. В современных условиях, характеризующихся нестабильностью запасов пелагических видов рыб и жесткими требованиями к ресурсосбережению, эффективность каждой промысловой операции приобретает критическое значение. По статистическим данным, значительная часть заметов в Мировом океане оказывается неэффективной («пустой») из-за преждевременного ухода косяка из зоны облова [10, с. 45].

Основополагающими причинами таких неудач являются ошибки в промысловом судовождении: неточная оценка дрейфа невода под воздействием подводных течений и недооценка реакции рыбы на мощный гидроакустический шум, исходящий от дизельного двигателя традиционного вспомогательного мотобота [18, с. 147].

Современное рыболовство стоит на пороге технологической трансформации в рамках концепции «Индустрия 4.0», что подразумевает внедрение интеллектуальных систем управления (АСУ) и беспилотных морских платформ [9, с. 120]. Значительный вклад в этом направлении сформирован коллективом кафедры промышленного рыболовства ФГБОУ ВО «КГТУ». В частности, под руководством А. А. Недоступа проведена серия масштабных исследований по созданию и испытанию безэкипажного промыслового катамарана на базе платформы ПК-2

[16, с. 210; 6, с. 284]. Данные работы подтвердили высокую маневренность и достаточные тяговые характеристики маломерных беспилотных судов с электрической силовой установкой для выполнения вспомогательных задач при эксплуатации орудий лова [1, с. 99].

Целью данной научно-исследовательской работы является теоретическая разработка и математическое обоснование структуры интеллектуальной АСУ «Автокошелек». Концептуальная идея работы заключается в интеграции существующей платформы беспилотного катamarана ПК-2 в качестве автономного вспомогательного судна (АВС), располагающегося непосредственно на борту сейнера-траулера рефрижераторного (СТР). Предлагаемая модель призвана автоматизировать процесс облова путем совмещения алгоритмов интеллектуального судовождения, анализа поведения объекта лова [15, с. 215] и кооперативной навигации роботизированного комплекса и мостика судна.

Материалы и методы

Предлагаемая в данной статье архитектура автоматизированной системы базируется на интеграции двух обособленных платформ, работающих в едином информационном поле (рис. 1): основного судна (он же сейнер) и автономного вспомогательного судна (АВС) [16, с. 11; 6, с. 212].

Для оптимизации и минимализации ресурсов и затрат на автоматизацию процесса авторами предлагается размещение АВС непосредственно на одно из штатных мест размещения спасательных шлюпок СТР. Выбор именно данного типа судов не случаен, так как в большинстве случаев именно этот типаж производит лов рыбы кошельковым неводом и является наиболее эргономичным для автоматизации.

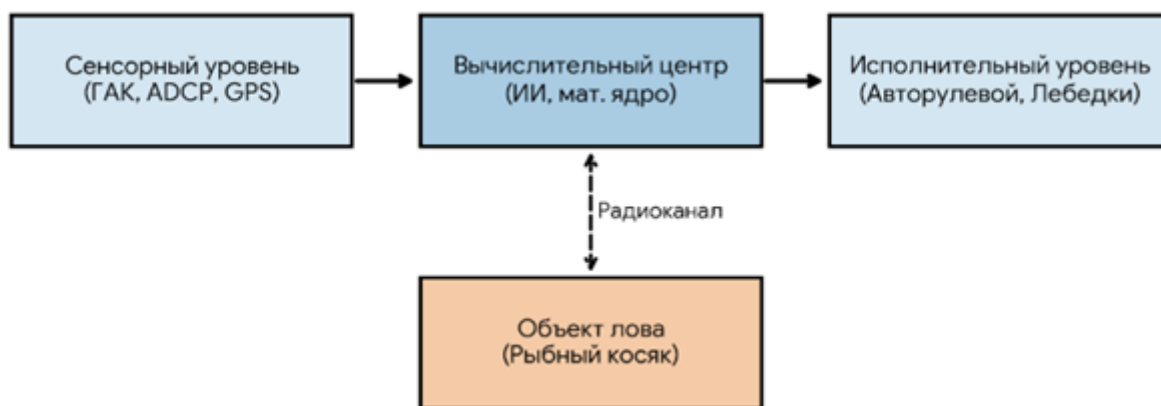


Рис. 1. Архитектура киберфизической системы АСУ «Автокошелек». Составлено авторами
Fig. 1. Architecture of the cyber-physical system ACS "Autopurse". Compiled by the authors

В качестве платформы-носителя целесообразно рассматривать современные суда, например, новейшие траулеры-сейнеры проекта SK-3101R (типа «Ленинец») [20, 3, 8], ориентированные на лов пелагических видов кошельковым неводом. Обладая данными об архитектуре современных СТР и опираясь на поправки в конвенции СОЛАС и правила РМРС (СОЛАС-74, 2020; РМРС, 2024), сократившие обязательное количество спасательных шлюпок с двух до одной, можно утверждать, что на шлюпочной палубе высвобождается штатное место под постановку АВС (рис. 2).

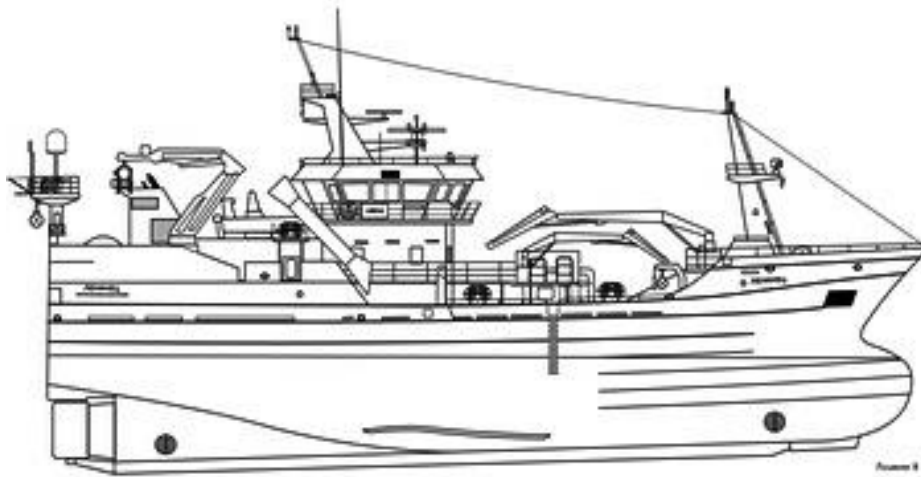


Рис. 2. Архитектура современного траулера-сейнера проекта SK-3101R, адаптируемого под базирование АВС. Источник: soviet-trawler.narod.ru (Электронный ресурс)
 Fig. 2. Architecture of the modern Project SK-3101R trawler-seiner, adaptable for USV basing. Source: soviet-trawler.narod.ru (Electronic resource)

Это инженерное решение позволяет решать сразу несколько задач, которые упрощают автоматизацию данного процесса:

1. Использовать штатные лебедки: спуск и подъем катамарана производятся по стандартному регламенту за 30–45 секунд.
2. Соблюсти нормы безопасности: согласно СОЛАС глава III правило 31 и Правила по оборудованию морских судов. Часть II: Спасательные средства на СТР есть готовое место под АВС.
3. Автоматизировать энергоснабжение: на ложементах (кильблоках) устанавливается система индукционной зарядки, которая автоматически восполняет заряд литий-полимерных аккумуляторов катамарана в периоды между промысловыми операциями.
4. Убрать человеческий фактор из операции: для обеспечения мгновенного старта шлюпбалка дооснащается электромагнитными размыкателями с дистанционным управлением, исключающими необходимость ручной отдачи строп при спуске.

В классическом кошельковом лове для удержания пятного уреза невода традиционно применяется тяжелый мотобот с мощным дизельным двигателем (рис. 3) [10, с. 50; 20]. Теоретический анализ данной технологии выявляет критический недостаток: гидроакустический шум (кавитация) дизельного двигателя выступает мощным раздражителем для рыбного косяка. Влияние этого раздражителя способно вызывать неконтролируемую панику у пелагических рыб, заставляя их ускорять миграцию или уходить на недостижимую глубину [18, с. 150; 19, с. 370].



Рис. 3. Вспомогательный дизельный мотобот типа SF Series.
 Источник: Vicalisa (Электронный ресурс)
 Fig. 3. Auxiliary diesel skiff of the SF Series type. Source: Visalisa (Electronic resource)

Замена традиционного мотобота на концептуальную модель АВС с электрической силовой установкой теоретически позволяет минимизировать влияние раздражителя за счет снижения акустического давления на косяк [6, с. 215].

Архитектурно система «Автокошелек» состоит из трех уровней (см. рис. 1). Сенсорный (информационный) уровень обеспечивает непрерывный сбор данных: многолучевой гидролокатор сейнера определяет 3D-координаты косяка, скорость его миграции; акустический доплеровский профилограф течений (ADCP) сканирует водную толщу; датчики фиксируют натяжение ваеров.

Вычислительный уровень базируется на нейросетевых алгоритмах и ИИ. В него заложены аналитические модели динамики невода [5, с. 120], математические принципы судовождения [1, с. 45; 14, с. 300] и биологии рыбы [15, с. 215]. Искусственный интеллект непрерывно анализирует поступающие данные: именно точное знание поведения косяка инициирует выбор оптимального режима АСУ «Автокошелек» (выбор радиуса циркуляции, скорости отдачи ваеров и угла упреждения) [17, с. 42]. Исполнительный уровень формализует выработанные ИИ команды для передачи на авторулевой сейнера и навигационный контроллер АВС [9, с. 125; 16, с. 14].

Для успешного проектирования алгоритмов судовождения необходимо математически формализовать параметры рыбного косяка: скорость и миграцию. В рамках аналитической модели ИИ косяк рассматривается как материальная точка, центр масс которой перемещается в трехмерном пространстве [18, с. 152].

Скорость движения косяка в любой момент времени математически представляется векторной суммой его естественной скорости миграции и скорости реакции на влияние гидроакустического раздражителя (избегания) (рис. 4), вычисляется по формуле (1), адаптированной из работы [18]:

$$V_p(t) = V_m(t) + V_y(D, t), \quad (1)$$

где V_m – вектор естественной миграции косяка; V_y – вектор скорости избегания (реакция на раздражитель); D – дистанция от источника акустического шума до центра косяка.

Вектор $V_y(d)$ имеет выраженную нелинейную зависимость от расстояния (рис. 4). Исследования в области ихтиологии показывают, что активное уклонение начинается при пересечении порогового расстояния R_{pdp} – радиус раздражителя, которое коррелирует с уровнем шума-раздражителя (Source Level, SL [18, с. 155; 19, с. 380]), поэтому была получена формула (2) на основе работ [18, 19]:

$$V_y = k_a \cdot V_{max} \cdot \exp(-d / R_{pdp}), \dots \dots \dots (2)$$

где k_a – эмпирический коэффициент восприимчивости вида к раздражителю; V_{max} – максимальная бросковая скорость вида рыб; d – текущее расстояние (дистанцию) между источником гидроакустического раздражителя (судном) и центром косяка рыб. Использование в модели АВС с электродвигателем [6, с. 216] аналитически обосновывает снижение параметра R_{pdp} , что приводит к минимизации вектора V_y и повышает вероятность удержания косяка.

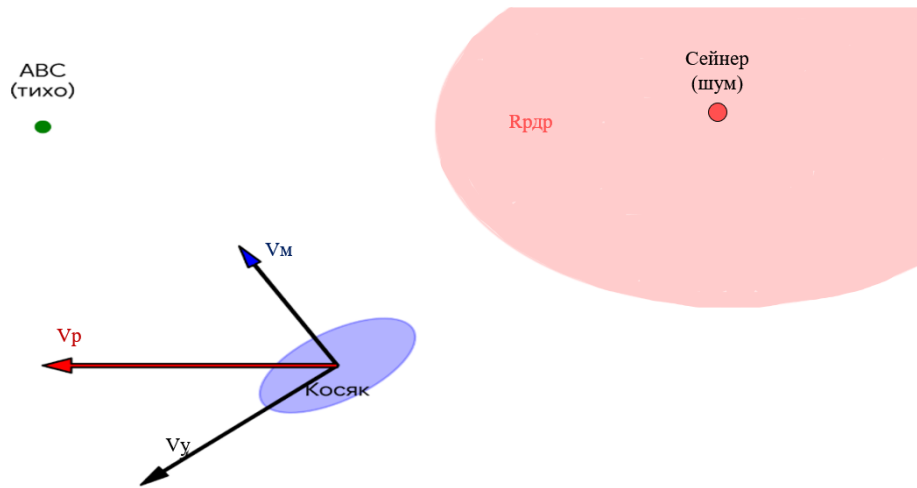


Рис. 4. Векторная схема реакции избегания рыбного косяка под воздействием гидроакустического шума судна. Составлено авторами

Fig. 4. Vector diagram of a fish school avoidance reaction under the influence of vessel hydroacoustic noise. Compiled by the authors

Теоретическая задача судовождения в рамках АСУ заключается в построении оптимального маршрута обвода косяка. Идеальная круговая траектория при наличии течения неэффективна. Искусственный интеллект генерирует динамическую кривую (эллипс), параметры которой вычисляются как функция от векторов V_p и $V_{теч}$. [14, с. 310; 17, с. 50].

Для управления судном по сложной расчетной кривой в теории судовождения широко применяется алгоритм слежения за линией пути – Line-of-Sight (LOS) [11, с. 66; 13, с. 1625]. Уравнение управления курсом сейнера в АСУ (рис. 5) описывается формулами (3) и (4), синтезированными на основе работ [13, 14, 11, 1]:

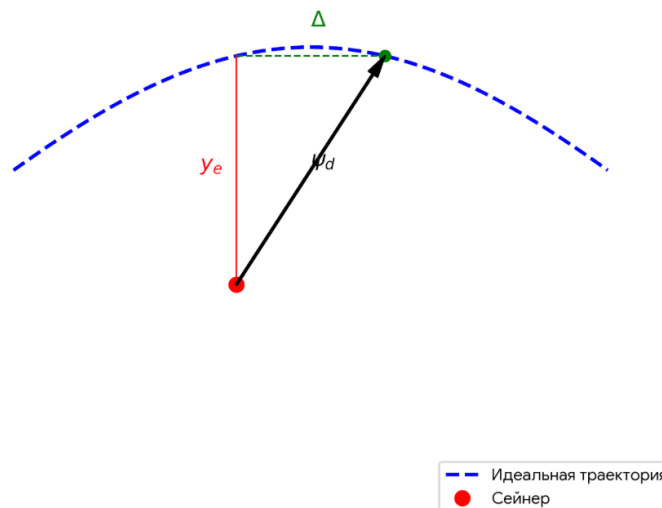


Рис. 5. Геометрическое обоснование навигационного алгоритма Line-of-Sight (LOS) для движения по криволинейной траектории. Составлено авторами

Fig. 5. Geometric justification of the Line-of-Sight (LOS) navigation algorithm for curved path following. Compiled by the authors

$$\Psi d = \gamma p + \arctan\left(\frac{-ye}{\Delta}\right). \quad (3)$$

$$T \cdot \frac{d^2\psi}{dt^2} + \frac{d\psi}{dt} = K \cdot \delta руля, \quad (4)$$

где ψd – расчетный (желаемый) курс судна; γp – угол наклона касательной к навигационной кривой замета; ye – боковое отклонение (cross-track error) сейнера от идеальной траектории; Δ – параметр дистанции упреждения LOS [13, с. 1627]; T и K – индексы управляемости судна по линейной модели Номото (формула активно используется [1, с. 60]); $\delta руля$ – искомый угол перекаладки руля.

В рамках кооперативного судовождения ИИ формализует параллельную задачу навигации ABC [16, с. 15; 12, с. 400]. Аналитический расчет координат позиции удержания пятного конца позволяет вектору тяги ABC компенсировать вектор дрейфа сетного полотна [4, с. 125].

Одной из наиболее сложных задач при эксплуатации кошелькового невода является сохранение его геометрической формы в условиях воздействия разнонаправленных водных потоков. Влияние течения на систему «судно–невод» приводит к деформации площади облова: сетная стенка прогибается, что влечет за собой сокращение расчетного радиуса «кошелька» и образование зон «схлопывания» полотна. Кроме того, разность скоростей дрейфа основного судна и нижней подборы невода замедляет процесс его погружения [4, с. 118].

В рамках предлагаемой АСУ «Автокошелек» борьба с влиянием течения реализуется через механизм активного динамического позиционирования ABC. На сенсорном уровне система, используя данные акустического доплеровского профилографа течений (ADCP), выстраивает эпюру скоростей водных потоков по глубине погружения невода.

Важным вопросом в теории замета кошелькового невода, оказывающим наибольшее влияние на результаты промысла, является процесс погружения сетной стенки в условиях подводных течений. Успешная работа кошельковым неводом в значительной степени зависит от знания закономерностей его движения, умения контролировать и влиять на положение невода относительно дна и рыбных скоплений.

Движение кошелькового невода определяется действующими на него силами: весом невода, гидродинамическими силами и силами связей с судном. Доказана ограниченность применения существующих научных результатов и их несоответствие реальным условиям промысла вследствие неточной оценки влияния гидродинамических сил на движение невода при наличии течения. Наличие подводного течения усложняет задачу математического моделирования процесса погружения, так как вызывает перемещение элементов невода и нижней подборы в горизонтальной плоскости (по оси ОХ).

Для эффективного анализа динамики силовых и пространственно-временных характеристик кошелькового невода ИИ системы «Автокошелек» использует математическую модель, способную эффективно реализовываться посредством параллельных вычислений в гетерогенной среде ПК. В плоскости ОХУ погруженная часть невода представляет собой кривую. Применяв метод конечных элементов, ИИ разбивает погруженную часть невода по верхней подборе на равные участки, заменяя каждый участок прямолинейным отрезком (рис. 6).

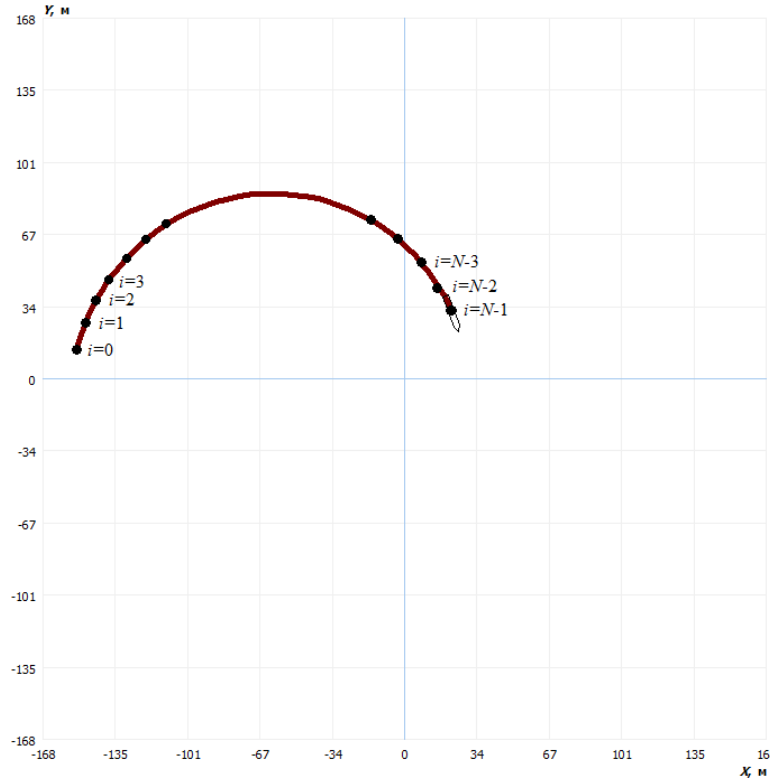


Рис. 6. Граф математической модели погруженной части кошелькового невода. Составлено авторами
Fig. 6. Graph of the mathematical model of the submerged part of the purse seine. Compiled by the authors

Сосредоточив массы и веса всех участков невода в узлах графа, составляется система дифференциальных уравнений (5–8), которая решается итерационными методами Адама и Рунге–Кутты:

$$\begin{cases} \frac{d\bar{v}_i}{dt} = \bar{w}_i, & \bar{v}_i(0) = \bar{0} \\ \frac{d\bar{r}_i}{dt} = \bar{v}_i, & \bar{r}_i(0) = \bar{r}_i^0 \end{cases}, \quad (5)$$

$$m_i \bar{w}_i = \sum_{j \in N_i} \left((\bar{r}_j - \bar{r}_i) \frac{T_{ij} + F_{c,ij}}{|\bar{r}_j - \bar{r}_i|} + \frac{\bar{R}_{ij}}{2} \right), \quad (6)$$

$$T_{ij} = \begin{cases} \left((|\bar{r}_j - \bar{r}_i| / L_{ij} - 1) E \pi d_s^2 / 4 \right) |\bar{r}_j - \bar{r}_i| > L_{ij} \\ 0 & |\bar{r}_j - \bar{r}_i| \leq L_{ij} \end{cases}, \quad (7)$$

$$\bar{R}_{ij} = \frac{1}{2} c_n \rho \frac{d}{a u_x \sqrt{1 - u_x^2}} L_{ij} \int_0^z \bar{v}_r \cdot |\bar{v}_r| \cdot dz, \quad (8)$$

где v_i – скорость узла i ; w_i – ускорение узла i ; r_i – координаты узла i ; r_i^0 – начальные координаты узла i ; t – время процесса моделирования; m_i – сосредоточенная масса в узле i с учетом присоединенной массы; w_i – узловое ускорение в точке i ; R_{ij} – сила гидродинамического сопротивления потоку воды, действующая на участок невода между узлами i и j ; r_i – координаты узла i ; r_j – координаты узла j ; T_{ij} – сила натяжения участка (i, j) верхней подборы; $F_{c,ij}$ – стягивающая сила, вызванная весом погруженной части невода; N_i – множество всех узлов, смежных узлу i

по ребру (i, j) ; d_s – диаметр верхней подбора; L_{ij} – длина участка (i, j) при $T_{ij}=0$ (без растяжения); E – модуль упругости материала верхней подбора (для капрона принят $1,7 \cdot 10^9$ Па); v_r – скорость перемещения воды относительно участка невода; c_n – гидродинамический коэффициент сети невода, для расчетов примем $c_n=1,3$.

Силы, действующие на узел i верхней подбора кошелькового невода в плоскости воды, показаны на рис. 7, а расчет стягивающей силы – на рис. 8.

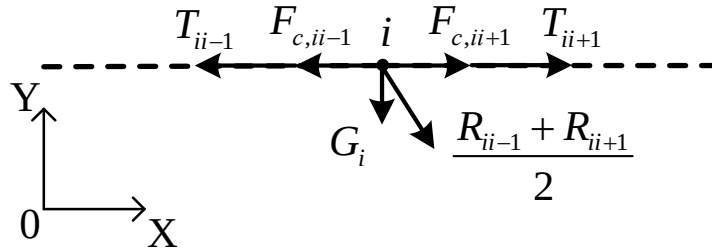


Рис. 7. Силы, действующие на узел i верхней подбора в плоскости OXY. Составлено авторами
Fig. 7. Forces acting on node i of the corkline in the OXY plane. Compiled by the authors

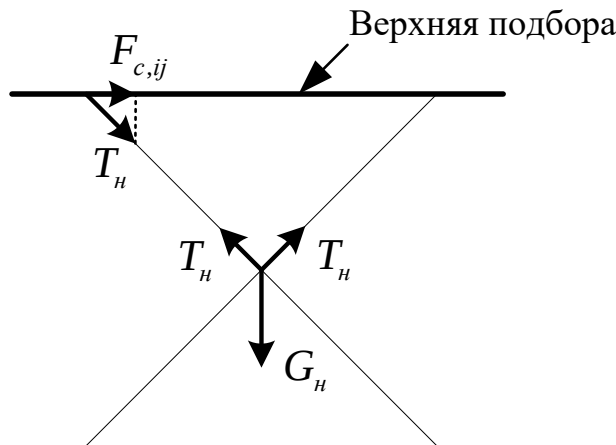


Рис. 8. Расчет стягивающей силы. Составлено авторами
Fig. 8. Calculation of the inward pulling force. Compiled by the authors

В случае если вектор волнового течения направлен параллельно оси OX, получаем формулы (9–13):

$$\bar{v}_r = \overline{(0, v_e)} - (\bar{v}_i + \bar{v}_j) / 2, \quad (9)$$

$$v_e = v_{en} \frac{\cosh(k(Z - z))}{\cosh(kZ)}, \quad (10)$$

$$F_{c,ij} = T_n u_x = Gaz \frac{u_x^2}{u_y}, \quad (11)$$

$$T_n = G_n / (2u_y), \quad (12)$$

$$G_n = 2au_x zG, \quad (13)$$

где v_e – скорость волнового течения; v_i и v_j – скорости перемещения узлов i и j соответственно; $u_{en}=0,25h^2k^2c_w$ – скорость волнового течения на поверхности; $k=2\pi/\lambda$; G_n – вес сети невода высотой z , приложенный к узлу; G – вес в воде 1 м^2 невода; u_x , u_y – посадочные коэффициенты по ширине и высоте сети невода; T_n – натяжение в нитке ячеи.

Полученная достоверная математическая модель погружения ниток (элементов сети) позволяет на стадии проектирования обоснованно определять необходимые характеристики механизмов АВС, а в условиях промысла – контролировать поведение кошелькового невода.

В процессе замата ИИ рассчитывает вектор компенсирующей тяги, который электродвигатели катамарана должны сгенерировать для предотвращения деформации орудия лова по формуле (14) [6; 21]:

$$T_{комп} = R_{меч} + T_n, \quad (14)$$

где $T_{комп}$ – необходимая компенсирующая тяга АВС; $R_{меч}$ – сила гидродинамического давления течения на сетную стенку [21, с. 396]; T_n – сила натяжения уреза, необходимая для сохранения раскрытия невода. Возможность обеспечения заданного усилия $T_{комп}$ маломерным беспилотным судном подтверждается анализом его характеристик тяги на швартовых [6, с. 215].

В отличие от традиционного мотобота, управляемого интуитивно, беспилотный АВС корректирует обороты винтов синхронно с данными ИИ. Выполняя маневр «активной оттяжки», катамаран удерживает пятной урез в фиксированной навигационной точке, превращая невод в управляемую адаптивную структуру, устойчивую к сложным гидрологическим условиям.

Результаты и их обсуждение

Знание параметров косяка (скорости миграции и степени пугливости) является определяющим триггером для работы ИИ. Синтез моделей позволяет сформулировать аналитическое условие успешного облова, формула (15), представляющее собой строгую систему временных неравенств [17; 5; 15]:

$$t_{кпуга} + t_{смяг} < t_{ухода}, \quad (15)$$

где $t_{кпуга}$ – расчетное время прохождения траектории замата (зависит от параметров судовождения); $t_{смяг}$ – время стягивания подборы [5, с. 130]; $t_{ухода}$ – аналитически прогнозируемое время ухода косяка, зависящее от вектора миграции и влияния раздражителя [15, с. 22].

Если на этапе анализа ИИ фиксирует невыполнение данного неравенства, система переходит в корректирующий режим выбора «Автокошелька»: алгоритм инициирует перерасчет точки старта и радиуса циркуляции. В случае концептуальной невозможности удовлетворения критерия (15) формируется алгоритмический запрет на выполнение операции.

В традиционном судовождении отсутствие предиктивного учета влияния раздражителя и течения приводит к деформации площади облова и уходу косяка. Интеграция же аналитического аппарата ИИ позволяет компенсировать снос за счет навигационного расчета уравнений (3) и (4). Таким образом, теоретически обеспечивается выполнение базового условия успешного облова (15). Экономическая целесообразность концепции заключается в сокращении доли безрезультатных выходов в море за счет строгого математического обоснования маневров судовождения.

Заключение

Переход к высокотехнологичному роботизированному рыболовству требует создания комплексных киберфизических комплексов [9, с. 130]. Разработанная в статье теоретическая концепция интеллектуальной АСУ «Автокошелек» демонстрирует, что интеграция классических алгоритмов судовождения (таких как линейная модель управляемости Номото и метод наведения Line-of-Sight) с анализом параметров поведенческих реакций объектов лова формирует мощный аналитический базис для автоматизации промысла.

Введение в контур управления автономного вспомогательного судна (АВС) с электрической силовой установкой, базирующегося на штатном месте спасательной шлюпки, позволяет одновременно решить две критические проблемы кошелькового лова:

1. **Биологическую:** полностью устраняется форсированный шумовой раздражитель в зоне облова [18, с. 158], что минимизирует бросковую скорость избегания косяка I_y и искусственно увеличивает временное окно успешного лова Тухода.
2. **Техническую:** реализуется алгоритм активной компенсации дрейфа невода под воздействием разнонаправленных подводных течений. На основе предиктивного анализа эпюры скоростей водных потоков ИИ рассчитывает необходимый вектор компенсирующей тяги АВС $F_{\text{комп}}$ [1, с. 215], предотвращая деформацию сетной стенки орудия лова и его снос из зоны промысла [4, с. 118].

Сопоставление кинематики поведенческих реакций пелагических рыб и навигационных параметров маневрирования основного судна позволило формализовать строгое аналитическое условие успешного облова в виде системы временных неравенств [17, с. 55].

Таким образом, данная работа представляет собой комплексное теоретическое обоснование, подтверждающее, что углубленное слияние принципов навигации, теории управления техническими средствами и алгоритмов предиктивного анализа поведения биоресурсов является наиболее достоверным и перспективным научным путем повышения эффективности и экологичности освоения пелагических ресурсов Мирового океана.

Список источников

1. Гусев В. И. 1989. Прикладная теория управления движением судна. М. : Транспорт, 191 с.
2. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море 1974 года (СОЛАС-74). (С изменениями и дополнениями). Глава III: Спасательные средства и устройства. Правило 31. Спасательные шлюпки и плоты. СПб. : ЗАО ЦНИИМФ, 2020. 1076 с.
3. Траулер-сейнер проекта SK-3101R // АО «ПСЗ «Янтарь» (Электронный ресурс). URL: <https://shipyard-yanar.ru/grazhdanskoe-sudostroenie-3/trauler-sejner-pr-sk-3101r/> (дата обращения : 01.05.2026).
4. Недоступ А. А. Математическое моделирование процесса замета и погружения кошелькового невода в условиях волнения // Известия КГТУ. 2012. № 25. С. 118–133.
5. Недоступ А. А., Ражев А. О., Соколова Е. В., Макаров В. В. Математическое моделирование орудий и процессов рыболовства. Часть III: монография. Калининград : Изд-во ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. 228 с.
6. Недоступ А. А., Сергеев Е. И., Насенков П. В. и др. Мультифизическое подобие характеристик катамарана с ЭД и тралового комплекса // Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана : материалы VIII Международной научно-технической конференции. Владивосток, 2024. С. 210–219.
7. Правила по оборудованию морских судов. Часть II: Спасательные средства. НД № 2-020101-174. СПб. : Российский морской регистр судоходства (РМРС), 2024. С. 58–64.
8. Траулер-сейнер типа «Ленивец» проект SK-3101R // Цифровой портал «РУ-ВИКИ» (Электронный ресурс). URL: https://soviet-trawler.narod.ru/pages_r/ussr/leninets_r.html (дата обращения : 01.05.2026).
9. Супрунович А. Е. Автоматизация процессов управления промысловыми судами. М. : Агропромиздат, 1989. 240 с.
10. Br M. Purse seining manual. Rome : FAO, 1994. 406 с.
11. Breivik M., Fossen T. I. 2004. Path following of straight lines and circles for marine surface vessels. IFAC Proceedings. Vol. 37(10): 65–70.
12. Børseth T., Bjørum H., Asheim T., Fossen T.I. 2021. Control system design for autonomous auxiliary vessels in purse seine fishing. IFAC PapersOnLine. 54(16): 399–404.
13. Caharija W. et al. 2016. Integral line-of-sight guidance and control of underactuated marine vehicles: Theory, simulations, and experiments. IEEE Transactions on Control Systems Technology. 24(5): 1623–1642.

14. Fossen T. I. Handbook of Marine Craft Hydrodynamics and Motion Control. John Wiley & Sons. 2011. 575 с.
15. Fréon P., Misund O. A. Dynamics of Pelagic Fish Distribution and Behaviour: Effects on Fisheries and Stock Assessment. Fishing News Books, 1999. 348 с.
16. Hosseini M. et al. 2022. Trajectory tracking of underactuated surface vessels: a review. *Ocean Engineering* 250: 1–17.
17. Loe M. R. 2015. Mathematical modeling and control of purse seine fishing operations. Master Thesis. NTNU.
18. Misund O. A. 1993. Dynamics of moving masses: variability in packing density, shape, and size among pelagic fish schools. *ICES Journal of Marine Science*. 50(2): 145–160.
19. Pitcher T. J., Parrish J. K. 1993. Functions of shoaling behaviour in teleosts // Behaviour of teleost fishes. Springer, Boston, MA. 363–439.
20. Fleetphoto (Электронный ресурс). URL: <https://fleetphoto.ru/projects/5121/> (дата обращения : 02.05.2026).
21. Zhou C., Xu L., Hu F., Qu T. (2015). Hydrodynamic characteristics of knotless nylon netting normal to free stream and effect of inclination. *Ocean Engineering*. 104, 395–400. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.05.023.

Сведения об авторах

А. А. Недоступ – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой промышленного рыболовства.

Д. В. Гмырин – работник судоходной компании ООО «Глобал-Флот».

Information about the authors

A. A. Nedostup – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Commercial Fishery.

D. V. Gmyrin – Employee of the shipping company "Global-Flot" LLC.

Статья поступила в редакцию 24.05.2026; одобрена после рецензирования 02.06.2026; принята к публикации 02.06.2026.

The article was submitted 24.05.2026; approved after reviewing 02.06.2026; accepted for publication 02.06.2026.

© Недоступ А. А., Гмырин Д. В., 2026.

«Интеллектуальная система управления маневрированием и эксплуатацией кошелькового невода на базе интеграции автономных вспомогательных судов» [Недоступ А. А., Гмырин Д. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Моделирование процессов промысла минтая на крупнотоннажных судах

Евгений Валериевич Осипов¹, Иван Алексеевич Сошин²,
Светлана Витальевна Сухорукова³

^{1,3} Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия

² АО «Океанрыбфлот», Владивосток, Россия

¹ oev@mail.ru

² pallada104@mail.ru

³ sukhorukova.sv@dgtru.ru

Аннотация. На основе исследования процессов промысла минтая в районе 6105.1 с учетом промысловой обстановки по характеру записей минтая 2025 г. разработана модель расчета промысла судна. В качестве объектов взято судно проекта СТ-191L, суточный вылов по переработке определен 500 т/сут, 100 т выпуска филе, трюма 2312 т, использован трал «Атлантика 1580», мешок на 200 т. Проведено моделирование 31 рейса судна проекта СТ-191L при трех вариантах направления продукции в виде филе (100 т, 200 т, 300 т), которое показало, при мягком моделировании средние значения выпуска продукции за рейс 42077,26 т ($\pm 387,52$), 17 перегрузов соответствуют реальной работе судов СТ-191L на промысле минтая, характеристики траловой системы достаточны, чтобы освоить возможные уловы в данном районе до 92–95 %. Применение трала «Атлантика 1660» с мешком 250 т по сравнению с тралом «Атлантика 1580» с мешком 200 т позволило увеличить улов в среднем на 12,9 %, в то же время при применении трала «Атлантика 1580» с мешком 250 т произошло снижение улова на 1,7 %. При увеличении мешка до 300 т для трала «Атлантика 1660» значение произведенной продукции за рейс оказалось ниже по сравнению с мешком на 250 т. Таким образом, результаты моделирования с учетом всех процессов показали объективную картину промысла, где отсутствуют линейные подходы с выбором размеров трала, мешка, особенностей суточных скоплений гидробионтов, процессов выборки траловой системы, ее постановки, все это сказывается на суточных показателях промысла. При реальном планировании необходимо учитывать, что всех случайных факторов, связанных в первую очередь с изменением промысловой обстановки, можно не учесть, поэтому для планирования промысловой деятельности надо ориентироваться на нижние показатели произведенной продукции за рейс.

Ключевые слова: рыбная продукция, моделирование процессов промысла, рыболовные суда, скопления минтая

Для цитирования: Осипов Е. В., Сошин И. А., Сухорукова С. В. Моделирование процессов промысла минтая на крупнотоннажных судах // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 188–199.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Modeling of pollock fishing processes on large-capacity vessels

Evgeny V. Osipov¹, Ivan A. Soshin², Svetlana V. Sukhorukova³^{1,3} Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia² JSC «Okeanrybflot», Vladivostok, Russia¹ oev@mail.ru² pallada104@mail.ru³ sukhorukova.sv@dgtru.ru

Abstract. The work is based on a study of pollock fishing processes in the 6105 area. Taking into account the fishing situation by the nature of pollock records in 2025, a model for calculating the fishing of a vessel has been developed. The vessel of the ST-191L project was taken as objects, the daily catch for processing was determined to be 500 tons/day, 100 tons of fillet production, 2312 tons of hold, the Atlantic 1580 trawl was used, a bag for 200 tons. The simulation of 31 voyages of the CT-191L project vessel was carried out with three variants of fillet production (100 tons, 200 tons, 300 tons), which showed, with soft modeling, the average values of output per voyage of 42077.26 tons (± 387.52), 17 overloads correspond to the actual work of CT-191L vessels in the pollock fishery. The characteristics of the trawl system are sufficient to master possible catches in the area up to 92–95%. The use of the Atlantic 1660 trawl with a 250-ton bag compared to the Atlantic 1580 trawl with a 200-ton bag increased the catch by an average of 12.9%. At the same time, the catch for the Atlantic 1580 trawl with a 250-ton bag decreased by 1.7%. Increasing the bag to 300 tons resulted in a lower production per trip for the Atlantic 1660 trawl compared to the 250-ton bag. Thus, the modeling results, taking into account all processes, showed an objective picture of the fishery, where there are no linear approaches to the selection of trawl and bag sizes, characteristics of daily aquatic organism aggregations, trawl system selection processes, and its setting, all of which affect daily fishery performance. In actual planning, it is necessary to take into account that all random factors, primarily related to changes in the fishing situation, may not be taken into account, therefore, when planning fishing activities, it is necessary to focus on the lower indicators of the output per trip.

Keywords: fish products, modeling of fishing processes, fishing vessels, pollock accumulations

For citation: Osipov E. V., Soshin I. A., Sukhorukova S. V. Modeling of pollock fishing processes on large-capacity vessels. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):188–199. (In Russ.).

Введение

Минтай является самым массовым по вылову объектом в России и достигает 1,5–1,8 млн т в год, поэтому моделирование процессов тралового промысла минтая с применением новых судов является актуальной задачей. Это позволяет анализировать перспективы замены флота новыми судами, организацию производства продукции на новых судах, в том числе определять для вводимых судов характеристики мощностей перерабатывающих линий, а также понимать пределы роста на основе характеров скоплений минтая.

Объекты и методы исследований

В качестве объектов использованы новое рыболовное судно проекта СТ-191L фирмы Skipsteknisk AS, суточный вылов по переработке определен 500 т/сут, 100 т выпуска филе,

трюма 2312 т. На судне используются трал «Атлантика 1580», мешок на 200 т, агрегатное сопротивление траловой системы 336 кН (5,5 уз), судно имеет 3857 кН при 5–5,5 уз. По мере наполнения трюма происходит выгрузка на транспорт, заправка топливом и тарой. Судно оснащено гидроакустическим оборудованием Simrad ES 80 основной промысловый, Simrad SN 90 секторный (впередсмотрящий) и Furuno FE-800 навигационный. В качестве района промысла выбран 6105.1 и промысловая обстановка по характеру записей минтая 2025 г.

Результаты и их обсуждение

Общий процесс работы судна на промысле с учетом ограничений на основе подходов [1] представим в виде

$$\begin{aligned} T_{пр} &= T_{порт1} + T_{пер1} + T_{лов} + T_{пер2} + T_{порт2}; \\ T_{лов} &= \sum T_{ц.лов}^i + \sum T_{перег}^j + T_{шт}; \\ T_{ц.лов} &= T_{поиск} + T_{пост} + T_{тр} + T_{выб} + (T_{выл}); \\ T_{тр} &= \sum_{i=1}^n (L_i v_{тр.i} + L_{ск.i} v_{ск.i}); M_{ул} = \sum_{i=1}^n L_{ск.i} \beta_{зид.i} S_{у.i} k_{ул.i}, \\ M_{ул} &\leq M_{п.м.}, M_{прод} \leq M_{в.трюм}, T_{пр} \leq T_{усл}, M_{топ} \geq M_{мин}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $T_{пер1}$, $T_{пер2}$ – время перехода в район промысла и обратно; $T_{лов}$ – время лова; $T_{перег}$ – время перегруза продукции; $T_{усл}$ – регламентирующие значения нахождения судна на промысле; $T_{ц.лов}$ – время одного цикла лова; $T_{поиск}$ – время поиска; $T_{пост}$ – время постановки трала; $T_{тр}$ – время траления; $T_{выб}$ – время выборки; $T_{выл}$ – время выливки улова из мешка; $T_{шт}$ – время штормовых; $M_{прод}$ – масса продукции, произведенной за определенное время; $M_{в.трюм}$ – вместимость трюмов; L_i , $v_{тр.i}$ – расстояние, пройденное судном со скоростью до i скопления гидробионтов; $L_{ск.i}$, $v_{ск.i}$ – расстояние, пройденное судном со скоростью при облове i скопления гидробионтов; $\beta_{зид.i}$ – плотность i скопления; $S_{у.i}$ – i площадь устья трала; $k_{ул.i}$ – i -й коэффициент уловистости трала; $M_{ул}$ – масса улова; $M_{п.м.}$ – проектная масса улова в мешке; $M_{топ}$, $M_{мин}$ – масса топлива и минимальная масса топлива.

Время поиска $T_{поиск} \approx 30$ мин, $T_{пост}$ составляет 25–30 мин, в случае перегруза $T_{перег}$ до 2 сут, тогда при каждом перегрузе судно не занимается процессом лова

$$T_{усл} = T_{усл} - T_{перег}. \quad (2)$$

Время выливки улова из мешка в формуле (1) $T_{выл}$ поставлена в скобках, поскольку в некоторых случаях по системе «Дубль» после выборки начинают ставить второй трал и только после постановки осуществляют выливку улова, в этом случае $T_{выл}$ попадает во время $T_{тр}$. Обычно это происходит в случае хороших записей скоплений гидробионтов и тогда $T_{поиск} = 0$.

Исследования промысловых механизмов на основе методики, изложенной в работе [2], показали, что время выборки трала на палубу составляет при улове менее 180 т 12–15 мин, а в других случаях 17–20 мин. Подъем трала до кормы судна зависит от длины ваеров, для объекта минтай (длина ваера до 1000 м) время выборки составляет 10 мин. Постановка трала с вытравливанием ваеров до 30 мин.

Для моделирования процессов работы судов проекта СТ-191L на основе предложенной модели (1) и приведенных условий (2) была разработана программа.

Разработка моделей лова траловыми системами проводилась Трещевым А. И. [3], Кадильниковым Ю. В. [4], а также Андреевым Н. Н. [5]. В работе Кадильникова Ю. В. [4] предложена вероятностно-статистическая теория рыболовных систем, которая в большей степени была направлена для решения задач моделирования траления, где для траловой системы были введены показатели вероятности выхода гидробионтов в районе траловых досок, в устьевой

части трала, в мотённой части и в мешке. Применение данной модели в реальных задачах сопряжено с необходимостью определения вероятностей для различных типов тралов и скоплений разнообразных видов гидробионтов, при этом в различные временные интервалы суток одни и те же виды гидробионтов демонстрируют вариабельность в характере их скоплений, а также в их реакции на элементы траловой системы. Понятно, что такая модель практически не реализуема.

В работах Розенштейна М. М., Николаева В. В. [6, 7] осуществлено совершенствование математической модели процесса лова рыбы разноглубинным тралом с целью задач проектирования траловой системы и трала, в частности, при этом предложена имитационная модель для определения законов распределения гидробионтов и определена величина улова в единицу времени

$$q = p[HLv - 2rv_p(H + L - 2r)], \quad (3)$$

где H , L – вертикальное и горизонтальное раскрытия устья трала; r – дальность реакции рыбы на элементы трала; v_p – скорость движения рыбы при уходе от трала; p – плотность концентрации рыб в зоне облова.

В работе [6] для задач проектирования p представляется в виде закона распределения вероятностей, задающем исследуемую совокупность величин уловов в соответствии с распределением уловов при разных скоростях тралений. Плотность концентрации рыб в зоне облова в формуле (3) – величина постоянная, а в природе плотность концентрации рыб динамически изменяется вследствие распределения скоплений, что известно из практики и достаточно полно показано в работах [8, 9]. Поэтому модели [6, 7] хороши для проектирования габаритных размеров тралов, но не могут быть использованы для непосредственного моделирования промысла.

В начале 80-х гг. на основе подводных исследований Антонова В. П., Норина Е. Г. [10] и данных промысла Бойцова А. Н., Астафьева С. Э. [11] было показано, что для успешного облова гидробионтов необходимо использовать тралы с заданными раскрытиями с учетом реакции этих гидробионтов на подборы трала, что и отражает формула (3), в этом случае в системе (1) $k_{ул,i} = 1$ (рис. 1), в работах [12, 13] для среднетоннажного судна проекта «Атлантик–833» дистанция реагирования составляет 140–150 м, а на глубинах 150–200 м наблюдается уплотнение минтая за счет перемещения туда рыб из верхних горизонтов. Промысел минтая в районе 6105.1 ведется на глубинах более 230 м, что позволяет характер эхограммы минтая под судном считать идентичным в районе устья трала. Поэтому параметры скоплений $\beta_{гид,i}$, $L_{ск,i}$ и L_i для расчета (1) были определены на основе многочисленной промысловой информации на основе характера записей минтая в 2025 г. для промыслового района 6105.1.

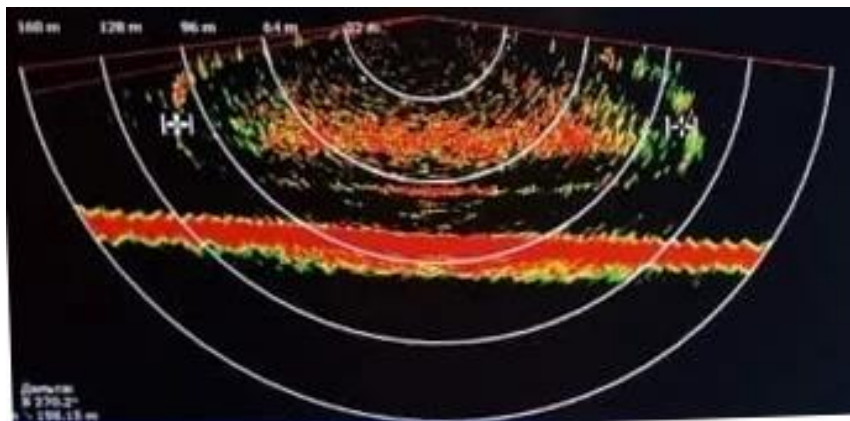


Рис. 1. Фрагменты эхограмм захода скоплений минтая в устье трала при вылове за 1 ч 180–200 т
Fig. 1. Fragments of echograms of the approach of pollock schools to the mouth of the trawl when 180–200 tons are caught in 1 hour

При этом записи скоплений минтая идут сплошным потоком (рис. 2–5), и в этом случае L_i можно принять равной нулю, однако в ряде случаев в период 18.30–6.30 L_i может идентифицироваться, хотя присутствуют отдельные маленькие скопления, что сильно отличается от записей скумбрии или иваси, приведенных в работах [8, 9], поэтому плотность скоплений генерировалась вероятностным способом, на основе многочисленной промысловой информации:

1) 6.30–12.00 – скопления рис. 2, 35–40 т в час, вероятность 0,73; скопления рис. 3, 180–200 т в час, вероятность 0,26;

2) 12.00–18.30 – скопления рис. 4, 8–10 т в час, вероятность 0,74; скопления рис. 5, 12–15 т в час, вероятность 0,26;

3) 18.30–6.30 – скопления рис. 3, 8–10 т в час, вероятность 0,76; скопления рис. 3, 5–8 т в час, вероятность 0,24.

Для оценки промысловой значимости скоплений можно также использовать «Электронный атлас акустических изображений скоплений рыб дальневосточных морей и их промысловой значимости» разработки ТИНРО [14, 15]. Атлас позволяет вводить параметры используемого промыслового трала (горизонтальное и вертикальное раскрытие) и производить оценку возможного вылова минтая на данном акустическом изображении (эхограмме) в тоннах/экземплярах на 1 ч траления.

Производственные показатели определяются из возможностей оборудования и норм выхода, тогда

$$\begin{aligned} x_1 &= M_{cp} - x_2; \quad x_{\phi} = k_{\phi} x_1; \quad x_{\phi} = k_{\phi} x_2; \quad x_3 = M_{cp} - x_{\phi} - x_{\phi}; \\ x_u &= k_u x_3; \quad x_+ = k_+ x_3; \quad x_4 = x_3 - x_u - x_+; \quad x_m = k_m x_4; \\ M_{прод.сут} &= x_{\phi} + x_{\phi} + x_u + x_+ + x_m; \quad M_{прод} = \sum M_{прод.сут}, \end{aligned} \quad (4)$$

где x_1 , x_{ϕ} , k_{ϕ} – количество тонн сырца, идущего на изготовление минтая без головы, количество тонн минтая без головы и коэффициент выхода (0,63); x_2 , x_{ϕ} , k_{ϕ} – количество тонн сырца, идущего на изготовление филе минтая, количество тонн филе минтая и коэффициент выхода (0,33); x_3 – масса отходов; x_u , k_u – количество тонн икры из отходов и коэффициент выхода (0,04); x_+ , k_+ – количество тонн молок из отходов и коэффициент выхода (0,008); x_4 , x_m , k_m – количество тонн отходов, идущих на производство рыбной муки, количество тонн рыбной муки и коэффициент выхода (0,08).

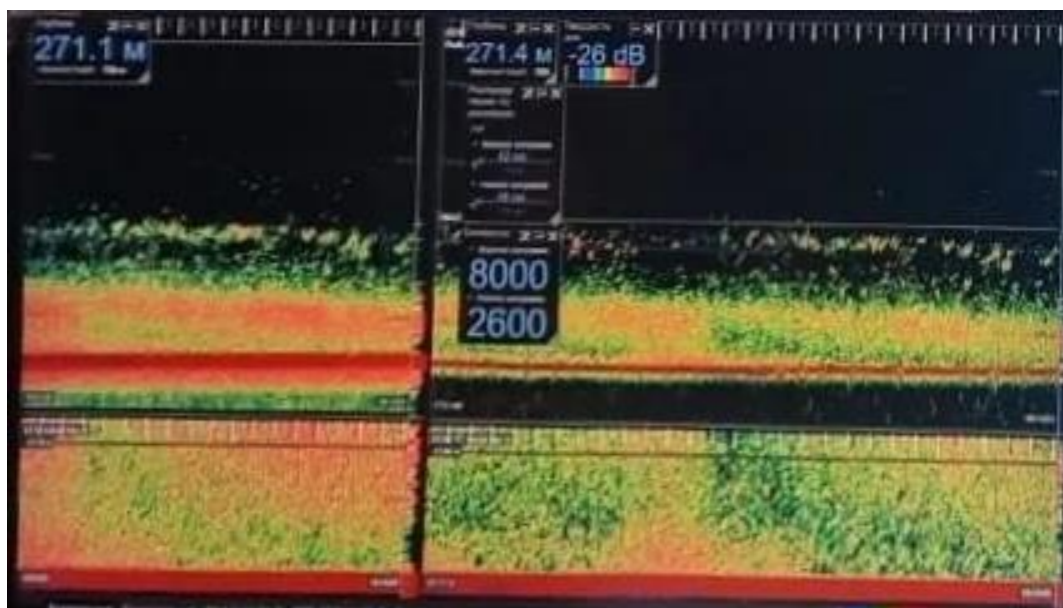


Рис. 2. Фрагменты эхограмм при вылове за 1 ч 38–45 т
Fig. 2. Fragments of echograms of 1-hour catches of 38–45 tons

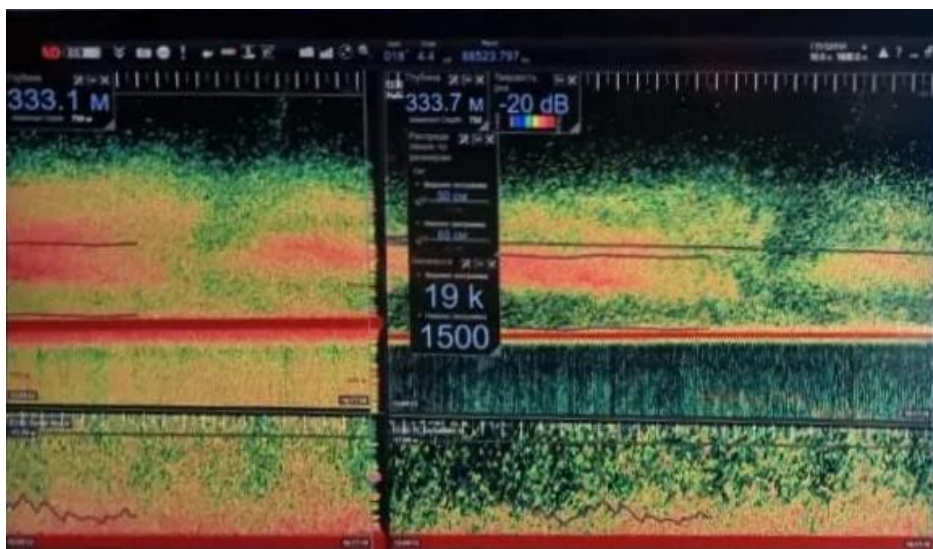


Рис. 3. Фрагменты эхограмм при вылове за 1 ч 180–200 т
Fig. 3. Fragments of echograms of 1-hour catches of 180–200 tons

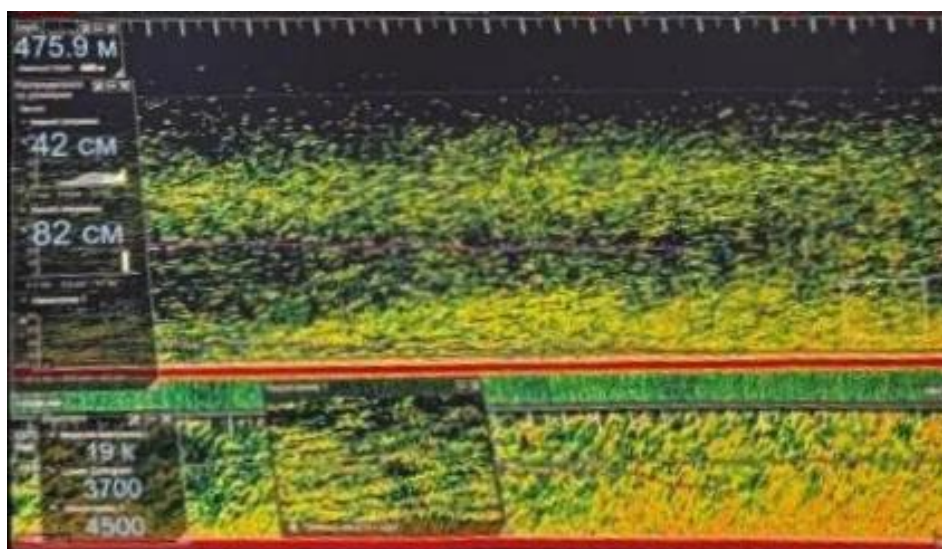


Рис. 4. Фрагменты эхограмм при вылове за 1 ч 5–10 т
Fig. 4. Fragments of echograms of 1-hour catches of 5–10 tons

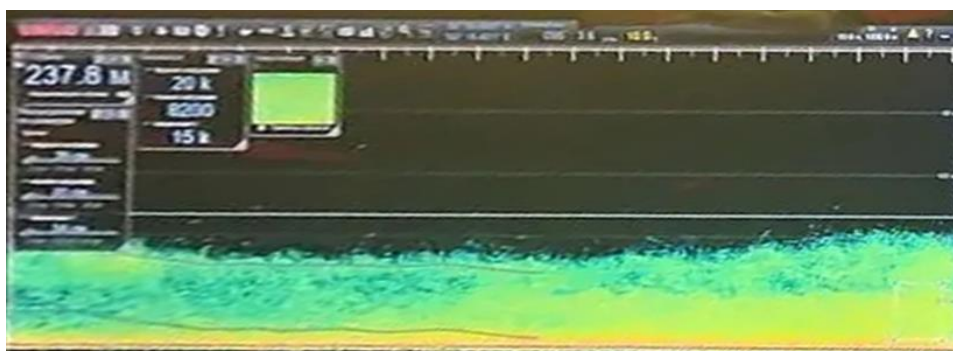


Рис. 5. Фрагменты эхограмм при вылове за 1 ч 12–15 т
Fig. 5. Fragments of echograms of 1-hour catches of 12–15 tons

Производственные мощности судна ограничены

$$M_{cp}^{max} \leq 500 \text{ т улова в сутки,} \quad (5)$$

на рис. 6 показано распределение улова при полном вылове без ограничений на основе данных эхограмм (рис. 2–5).

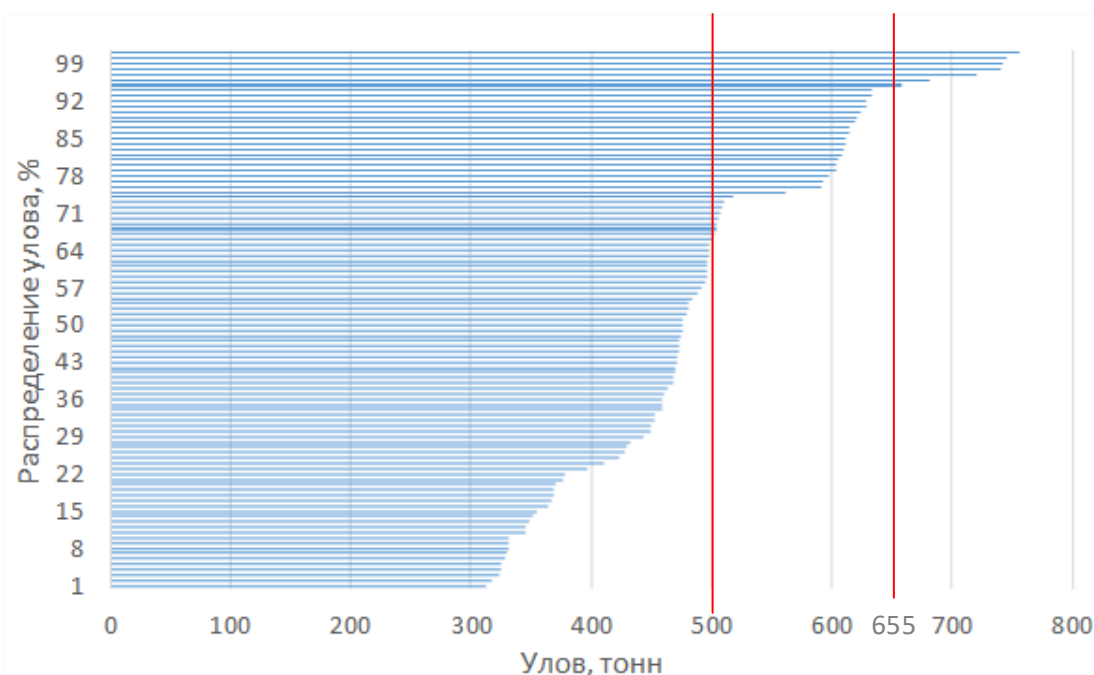


Рис. 6. Распределение уловов минтая
Fig. 6. Distribution of pollock catches

Распределение суточных уловов показывает (рис. 6), что мощности судна позволяют освоить 70–73 % возможных уловов, с учетом жесткого ограничения (500 т улова в сутки) промоделирован 31 рейс (рис. 7), для каждого из условий:

- при направлении 100 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс составило 40529,65 т ($\pm 299,68$), 17 перегрузов;
- при направлении 200 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 36969,10 т ($\pm 361,14$), 16 перегрузов;
- при направлении 300 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 33434,93 т ($\pm 437,30$), 14 перегрузов.

На практике суточное ограничение в 24 ч сглаживается фактической загрузкой производственных линий, поэтому если улов $M_{ул}$ меньше $M_{ср}^{max}$, то в следующие сутки судно может обработать больший улов на разницу между $M_{ср}^{max}$ и $M_{ул}$ за предыдущие сутки, тогда для каждого из условий (рис. 8):

- при направлении 100 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс составило 42077,26 т ($\pm 387,52$), 17 перегрузов;
- при направлении 200 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 38734,61 т ($\pm 442,59$), 16 перегрузов;
- при направлении 300 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 34791,0 т ($\pm 623,78$), 15 перегрузов.

При мягком моделировании освоение ресурса улова (рис. 6) составит до 92–95 % (уровень улова в среднем до 655 т в сут), самое главное, что на практике масса продукции соответствует значению продукции при мягком моделировании в 42 тыс. т. Такие расчеты показывают, что при проектировании линий переработки сырья, ориентируясь на опыт, были выбраны реальные проектные значения в переработке 500 т улова в сутки.

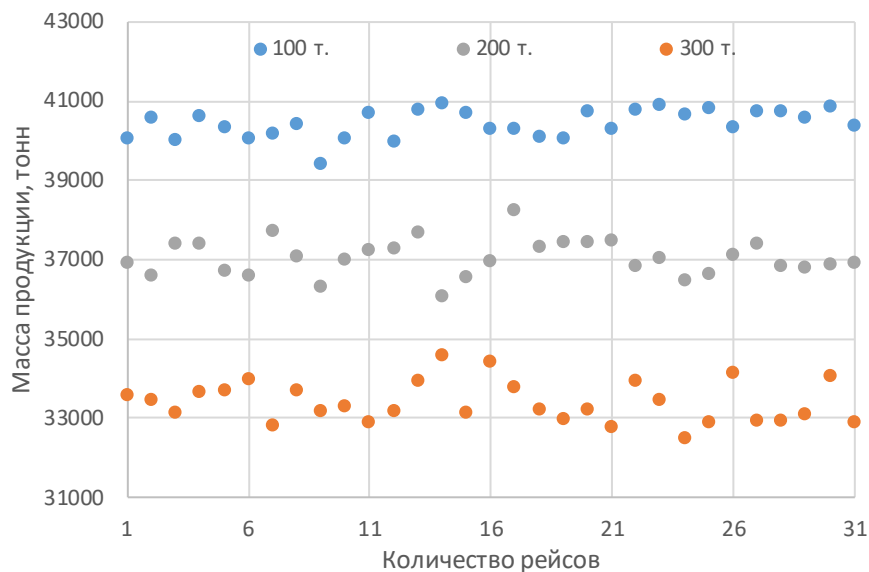


Рис. 7. Распределение произведенной продукции за 31 рейс при разном направлении минтая на филе (100, 200, 300)

Fig. 7. Distribution of the produced products for 31 flights with different directions of pollock fillet (100, 200, 300)

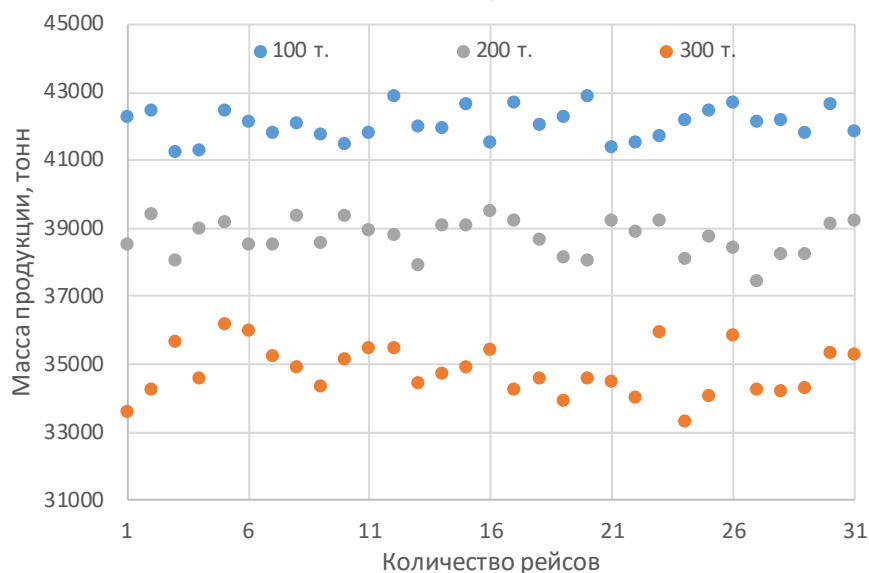


Рис. 8. Распределение произведенной продукции при мягком моделировании за 31 рейс при разном направлении минтая на филе (100, 200, 300)

Fig. 8. Distribution of the produced products during soft modeling for 31 flights with different directions of pollock fillets (100, 200, 300)

В случае учета штормовых $T_{шт}$ может составлять 10–12 % от общего времени на промысле, тогда (рис. 9):

- при направлении 100 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс составило 37012,15 т ($\pm 394,41$), 16 перегрузов;
- при направлении 200 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 34029,29 т ($\pm 496,9$), 16 перегрузов;
- при направлении 300 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 31165,5 тонн ($\pm 623,78$), 13 перегрузов.

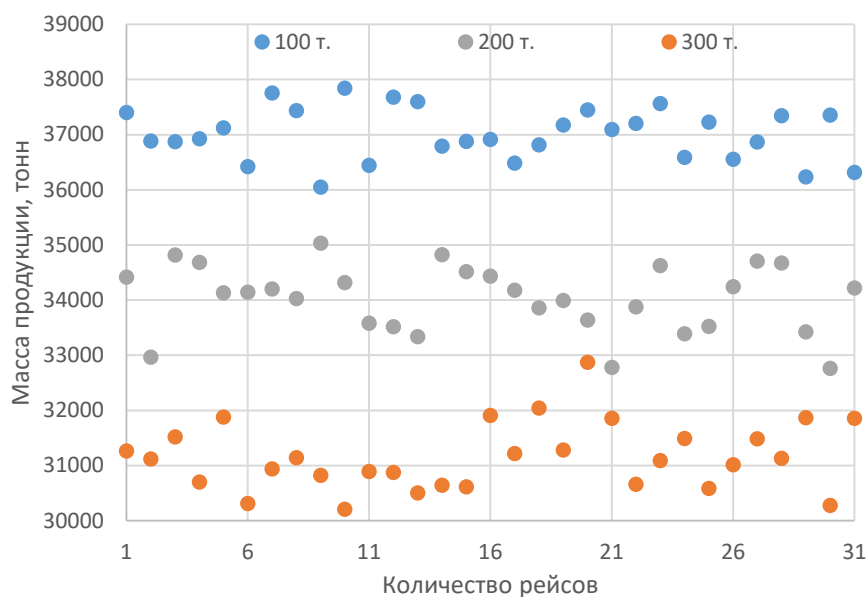


Рис. 9. Распределение произведенной продукции при мягком моделировании за 31 рейс при разном направлении минтая на филе (100, 200, 300) с учетом штормовых
 Fig. 9. Distribution of the produced products during soft modeling for 31 voyages with different directions of pollock filleting (100, 200, 300) taking into account storm conditions

На промысле с использованием трала «Атлантика 1580» раскрытие вертикальное 55 м, а горизонтальное 140 м, для трала «Атлантика 1660» вертикальное 60–70 м, а горизонтальное 150–160 м, тогда с учетом площади устья коэффициент пересчёта для трала «Атлантика 1660» будет

$$k_T = \frac{S_{A1660}}{S_{A1580}}. \quad (5)$$

Тогда для трала «Атлантика 1660» $k_T=1,2$, в этом случае для каждого из условий (рис. 10):

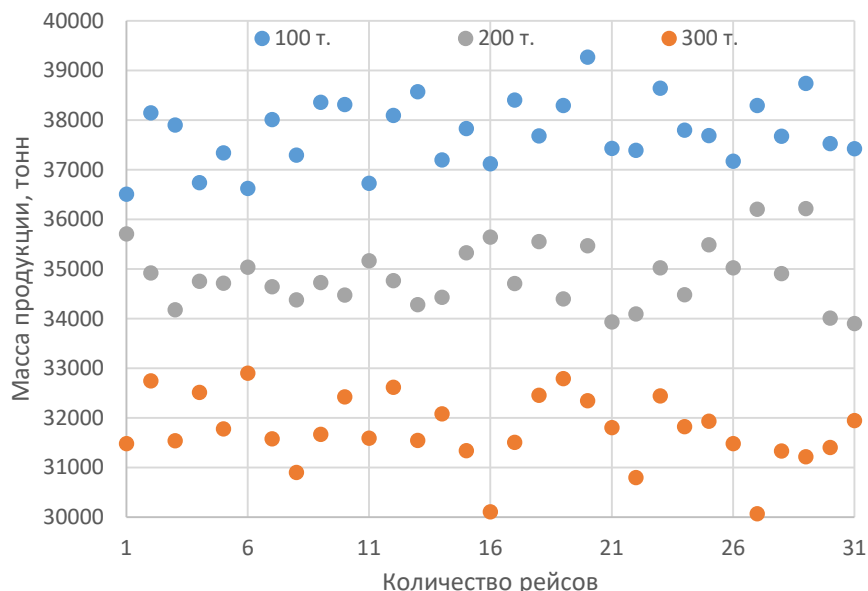


Рис. 10. Распределение произведенной продукции при мягком моделировании за 31 рейс (трал «Атлантика 1660») при разном направлении минтая на филе (100, 200, 300) с учетом штормовых
 Fig. 10. Distribution of the produced products during soft modeling for 31 voyages (Atlantic 1660 trawl) with different directions of pollock fillets (100, 200, 300) taking into account storm conditions

- при направлении 100 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс составило 37751,71 т ($\pm 544,75$), 16 перегрузов;

- при направлении 200 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 34859,94 т ($\pm 495,9$), 15 перегрузов;
- при направлении 300 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 31749,9 т ($\pm 541,35$), 13 перегрузов.

При применении трала «Атлантика 1660» по сравнению с тралом «Атлантика 1580», несмотря на коэффициент увеличения улова на 20 %, фактически среднее значение произведенной продукции за рейс (рис. 9, 10) увеличилось на 2 %.

В случае увеличения мешка до 250 т для трала «Атлантика 1580»:

- при направлении 100 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс составило 36746,57 т ($\pm 297,3$), 15 перегрузов;
- при направлении 200 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 33429,29 т ($\pm 467,1$), 14 перегрузов;
- при направлении 300 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 30406,41 т ($\pm 401,01$), 13 перегрузов.

В случае увеличения мешка до 250 т для трала «Атлантика 1660»:

- при направлении 100 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс составило 42132,88 т ($\pm 395,1$), 17 перегрузов;
- при направлении 200 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 39118,0 т ($\pm 375,7$), 16 перегрузов;
- при направлении 300 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс – 36108,3 т ($\pm 395,3$), 15 перегрузов.

Применение трала «Атлантика 1660» с мешком 250 т по сравнению с тралом «Атлантика 1580» с мешком 200 т позволило увеличить улов в среднем на 12,9 %, в то же время при применении трала «Атлантика 1580» с мешком 250 т произошло снижение улова на 1,7 %, что связано с меньшей уловистостью трала и необходимостью по датчикам обеспечивать контроль наполняемости мешка и увеличения времени выборки. При применении трала «Атлантика 1660» с мешком до 300 т при направлении 100 т минтая на филе среднее значение произведенной продукции за рейс составило 41558,22 т ($\pm 373,8$), 17 перегрузов, что ниже по сравнению с мешком на 250 т.

Заключение

В работе на основе исследования процессов промысла судами проведено численное моделирование для жесткого ограничения по продукции и мягкого (адаптированного) работы СТ-191L при трех вариантах направления продукции в виде филе (рис. 7, 8). Как можно видеть, при мягком моделировании средние значения выпуска продукции за рейс 42077,26 т ($\pm 387,52$), 17 перегрузов соответствуют лучшим достижениям реальной работы судов СТ-191L на промысле минтая, однако необходимо ориентироваться на средние показатели с учетом случайных факторов промысла, подходят данные (рис. 9) направления 100 т минтая на филе, среднее значение произведенной продукции за рейс составило 37012,15 т ($\pm 394,41$), 16 перегрузов.

Параметры скоплений минтая и характеристик трала «Атлантика 1580», мешок на 200 т, позволяют освоить возможные уловы до 92–95 %, моделирование с мешком 250 т показало снижение производства готовой продукции 1,7 %. При моделировании рассматриваемой траловой системы с тралом «Атлантика 1660» с мешком на 200 т и увеличении коэффициента улова на 20 % реальный вылов возрос на 2 %, только увеличение тралового мешка на 250 т позволило увеличить производство готовой продукции в среднем на 12,9 %, дальнейшее увеличение мешка на 300 т привело к снижению производства готовой продукции.

Таким образом, результаты моделирования с учетом всех процессов показало объективную картину промысла, где отсутствуют линейные подходы с выбором размеров трала, мешка, особенностей суточных скоплений гидробионтов, процессов выборки траловой системы, ее постановки, все это сказывается на суточных показателях промысла. На крупных судах может

быть снаряжено для постановки до четырех разных тралов, их использование зависит от характера скоплений гидробионтов.

Поэтому предложенная методика моделирования процессов работы судов на траловом промысле, в данном случае минтая, позволяет получать объективные результаты и прогнозировать развитие промысла и на других типах судов. Однако при реальном планировании необходимо учитывать, что всех случайных факторов, связанных в первую очередь с изменением промысловой обстановки, можно не учесть, поэтому для планирования промысловой деятельности надо ориентироваться на нижние показатели произведенной продукции за рейс.

Список источников

1. Осипов, Е. В. Моделирование процессов работы судов-наливников / Е. В. Осипов, В. Е. Вальков, С. В. Сухорукова // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 72, № 2. С. 175–183. DOI 10.48612/dalrybvtuz/2025-72-16. EDN UPBGZL.
2. Лисиенко С. В., Осипов Е. В., Бойцов А. Н., Габрюк В. И. Повышение эффективности организации тралового промысла судами БМРТ типа «СОТРУДНИЧЕСТВО» // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : материалы I Нац. заоч. науч.-техн. конф. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2017. С. 56–60.
3. Трещев А. И. Научные основы селективного рыболовства. М. : Пищ. пром-сть, 1974. 446 с.
4. Кадильников Ю. В. Вероятностно-статистическая теория рыболовных систем и технической доступности для них водных биологических ресурсов. Калининград : АтлантНИРО, 2001. 275 с.
5. Андреев Н. Н. К теории лова траллирующими орудиями лова // Тр. ВНИРО. 1977. Т. 122. С. 58–76.
6. Розенштейн М. М., Николаев В. В. Определение законов распределения траловых уловов и поведенческих характеристик объекта лова для совершенствования модели процесса тралового лова рыбы // Известия КГТУ. 2004. № 5. С. 52–57.
7. Николаев В. В. Задача разработки модели процесса тралового лова рыбы // Инновации в науке и образовании – 2003 : материалы Международной научной конференции, посвященной 90-летию высшего рыбохозяйственного образования в России. Калининград, 2003. С. 109.
8. Кузнецов, М. Ю. Оперативный промыслово-акустический поиск скоплений японской скумбрии и сардины иваси в северо-западной части Тихого океана / М. Ю. Кузнецов, В. И. Поляничко, В. И. Шевцов // Научно-практические вопросы регулирования рыболовства : материалы Международной научно-технической конференции, Владивосток, 20–21 мая 2021 года. Владивосток : Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2021. С. 18–24. EDN VIFFNL.
9. Кузнецов, М. Ю. Гидроакустический мониторинг дальневосточной сардины (*Sardinops melanostictus*) и японской скумбрии (*Scomber japonicus*) в северо-западной части Тихого океана в 2015–2021 гг. / М. Ю. Кузнецов, В. И. Поляничко, Е. В. Сыроваткин // Водные биологические ресурсы России: состояние, мониторинг, управление : сборник материалов II Всероссийской научной конференции, посвященной 90-летию Камчатского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, Петропавловск-Камчатский, 04–05 апреля 2022 года. Петропавловск-Камчатский : Камчатский филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», 2022. С. 69–76. EDN BNJUYK.
10. Антонов В. П. Норинев Е. Г. Результаты подводных исследований промысловых траловых систем на Дальневосточном бассейне. Владивосток : НПО «Дальрыбсистемотехника», 1990. 26 с.

11. Бойцов, А. Н. Оснастка входного устья разноглубинного трала / А. Н. Бойцов, С. Э. Астафьев // Поведение рыб и орудия лова. Владивосток : Тихоокеанский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии, 1983. С. 27–32. EDN HGOEBU.
12. Кузнецов Ю. А., Баринев В. В., Кузнецов М. Ю., Осипов Е. В., Василистов А. В. Решение задач вычислительного эксперимента процессов тралового лова. Владивосток : Дальрыбвтуз, 2012. 68 с.
13. Кузнецов М. Ю., Поляничко В. И., Убарчук И. А., Сыроваткин Е. В. Влияние гидроакустического шума судна на эхоинтеграционные оценки запасов рыб и уловистость учетного трала (на примере минтая Охотского моря) // Известия ТИНРО. 2017. Т. 190. С. 85–100.
14. Убарчук И. А., Кузнецов М. Ю., Поляничко В. И., Сыроваткин Е. В., Шевцов В. И. Электронный атлас акустических изображений скоплений рыб дальневосточных морей и их промысловой значимости // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2025666061 ; заявл. 09.01.2025 ; зарег. 23.06.2025. 1 с.
15. Электронный атлас типовых акустических изображений промысловых видов рыб дальневосточных морей России / М. Ю. Кузнецов, И. А. Убарчук, В. И. Поляничко [и др.] // Известия ТИНРО. 2018. Т. 193. С. 57–67. DOI 10.26428/1606-9919-2018-193-57-67. EDN UWONSW.

Сведения об авторах

Е. В. Осипов – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Промышленное рыболовство».
 И. А. Сошин – капитан, АО «Океанрыбфлот».
 С. В. Сухорукова – старший преподаватель кафедры «Промышленное рыболовство».

Information about the authors

E. V. Osipov – PhD in Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Fisheries.
 I. A. Soshin – Captain, JSC Okeanrybflot.
 S. V. Sukhorukova – Senior Lecturer of the Department of Industrial Fisheries.

Статья поступила в редакцию 05.03.2026; одобрена после рецензирования 09.04.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 05.03.2026; approved after reviewing 09.04.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Осипов Е. В., Сошин И. А., Сухорукова С. В., 2026.

«Моделирование процессов промысла минтая на крупнотоннажных судах» [Осипов Е. В., Сошин И. А., Сухорукова С. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

Научная статья

УДК 639.2.05 : 681.883.42

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-21

EDN: TOVTNF

**Распределение рыбных скоплений в осенне-зимний период 2025 года
в прибрежных районах Крыма и Кавказа по результатам
гидроакустических исследований под влиянием
температурного фактора**

**Татьяна Васильевна Помогаева, Юрий Георгиевич Артёмов,
Евгений Геннадьевич Сахонь**

Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия
pomogatyana@mail.ru

Аннотация. Исследования в рейсе 138 ЦКП НИС «Профессор Водяницкий», прошедшем в ноябре–декабре 2025 г., выполнялись по программе мониторинговых исследований ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН». Гидроакустические исследования проводились гидроакустическим научным эхолотом Simrad EK-500 со стационарно установленными антеннами на 38 и 120 кГц. Цель исследований состояла в оценке влияния температурного фактора на распределения рыбных скоплений в переходной осенне-зимний сезон. Эхозаписи рыбы были отмечены как в пелагиали, так и в придонном горизонте. Неоднородный характер встречаемых скоплений объясняется влиянием температурного фактора. Исследования температуры показали, что данная акватория находилась в фазе активной осенней трансформации.

Ключевые слова: Чёрное море, ЦКП НИС «Профессор Водяницкий», гидроакустические исследования, Simrad EK-500, эхограмма, эхоинтенсивность, плотность скоплений, температура, хамса

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Изучение биогеохимических закономерностей радиозокологических и хемозокологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ 124030100127-7) и «Трансформация структуры и функций экосистем морской пелагиали в условиях антропогенного воздействия и изменения климата» (№124030400057-4)».

Благодарности: авторы выражают признательность всему экипажу ЦКП НИС «Профессор Водяницкий», а также особую благодарность за помощь в исследованиях помощнику капитана по науке В. В. Давыдову.

Для цитирования: Помогаева Т. В., Артёмов Ю. Г., Сахонь Е. Г. Распределение рыбных скоплений в осенне-зимний период 2025 года в прибрежных районах Крыма и Кавказа по результатам гидроакустических исследований под влиянием температурного фактора // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 200–209.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Distribution of fish assemblages in the autumn-winter period of 2025 in the coastal areas of Crimea and the Caucasus according to the results of hydroacoustic research under the influence of the temperature factor**Tatiana V. Pomogaeva, Yuri G. Artyomov, Evgeny G. Sakhon**

A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences, Sevastopol, Russia
pomogatyana@mail.ru

Abstract. Research in the 138th voyage of the CKP NIS "Professor Vodyanitsky", which took place in November-December 2025, was carried out according to the monitoring research program of the A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of the Russian Academy of Sciences. Hydroacoustic studies were conducted using a Simrad EK-500 hydroacoustic scientific echo sounder with stationary antennas at 38 and 120 kHz. The purpose of the studies was to assess the impact of temperature on the distribution of fish aggregations during the transitional autumn-winter season. Fish echoes were recorded both in the pelagic zone and in the bottom layer. The heterogeneous nature of the observed aggregations can be attributed to the influence of temperature. Temperature measurements indicated that the study area was in the phase of active autumn transformation.

Keywords: Black Sea, CPC NIS "Professor Vodyanitsky", hydroacoustic research, Simrad EK-500, echogram, echo intensity, density of clusters, temperature, and hamsa

Funding: the work was carried out within the framework of the state assignment of the FITZ INBYUM on the topic "Study of biogeochemical patterns of radioecological and chemoecological processes in ecosystems of reservoirs of the Azov-Black Sea basin in comparison with other water areas of the World Ocean and individual aquatic ecosystems of their catchment areas to ensure sustainable development in the southern seas of Russia" (No. 124030100127-7) and "Transformation of structure and functions marine pelagic ecosystems under conditions of anthropogenic impact and climate change" (No. 124030400057-4)".

Acknowledgements: the authors express their gratitude to the entire crew of the Central Research Laboratory of the NIS "Professor Vodianitsky", as well as special thanks for their research assistance to the captain's science assistant V. V. Davydov.

For citation: Pomogaeva T. V., Artyomov Yu. G., Sakhon E. G. Distribution of fish assemblages in the autumn-winter period of 2025 in the coastal areas of Crimea and the Caucasus according to the results of hydroacoustic research under the influence of the temperature factor. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):200–209. (In Russ.).

Введение

В настоящее время большой интерес для научных исследований представляет изучение поведения промысловых видов рыб в Черном море. Гидроакустический метод является бесконтактным, не наносит вреда промысловым объектам и позволяет оценить состояние рыб по всей пройденной акватории и по всей толще воды.

Согласно биологии промысловых массовых видов рыб Черного моря (хамса, шпрот, ставрида) каждый из этих видов имеет свой жизненный биологический цикл, в определенные месяцы года (при определенной температуре) совершая нагульные и зимовальные миграции [1].

Хамса в Азово-Черноморском бассейне представлена двумя формами: черноморской и азовской. Хамса – один из традиционных объектов промысла. Азовская хамса отличается от

черноморской устойчивостью к более низкой репродуктивной температуре [2]. Согласно правилам рыбопромысловой статистики, черноморская хамса – хамса, выловленная у берегов Крыма к западу от меридиана м. Аю-Даг, хамса, выловленная восточнее – азовская [3]. Азовская хамса вылавливается у черноморского побережья Краснодарского края, черноморская – у западных и южных берегов Крымского полуострова в ноябре-марте. По литературным данным [4], температура поверхности моря 15,5 °С является температурой начала активной осенней миграции. Уменьшение температуры поверхности моря до 12 °С и ниже способствует окончанию активной миграции и началу зимовки хамсы.

Для зимнего периода жизненного цикла черноморской хамсы характерны суточные вертикальные миграции: в начале зимы, когда верхний 40-метровый слой воды остается на 2–4 градуса теплее нижележащих вод, косяки хамсы распределяются ближе к поверхности моря. В дневное время наблюдается опускание хамсы на 20–30 м от поверхности.

В октябре при охлаждении поверхностных вод до 15 °С черноморский шпрот начинает подниматься в темное время суток до самой поверхности. В это время существенно изменяются его распределение и поведение. Косяки отходят от прибрежных мелководных районов в глубоководные и постепенно рассредоточиваются по всей площади моря. Промысловые скопления распадаются, и в ноябре устанавливается типичная картина зимнего рассеянного распределения. В ноябре-марте черноморский шпрот рассредоточен в пелагиали по всему морю и промысловых скоплений не образует. Миграции ставриды к местам зимовок начинаются в октябре и продолжаются по декабрь. Косяки движутся в прибрежной зоне, ночью рассеиваются, днем концентрируются. Скопления окончательно стабилизируются к концу декабря и в дальнейшем перемещаются незначительно. В начале зимовки характерны различия в поведении в течение суток: днем скопления концентрируются, а ночью – рассеиваются. Наиболее плотными являются зимовальные скопления, что и обуславливает добычу основной доли годового вылова ставриды именно в данный период. У берегов Крыма они начинают образовываться во второй половине, реже – в середине ноября, а массовыми становятся лишь в конце ноября или даже в декабре при температуре воды около 12 °С. У берегов Кавказа стабилизация скоплений происходит при такой же температуре несколько позже, как правило, в конце декабря [1].

Объекты и методы исследований

Работы проводились двухчастотным научным эхолотом Simrad EK-500, оборудованным двумя подкильными антеннами 38 кГц (с расщепленным лучом) и 120 кГц, прецизионными измерительными каналами, встроенной микроЭВМ, устройствами отображения эхограмм в реальном масштабе времени, а также каналами передачи акустической информации. Для регистрации данных, поступающих по каналу ETHERNET в соответствии с протоколом TCP/UDP [5-6], была использована программа Logger_EK500, разработанная сотрудниками Лимнологического института СО РАН Макаровым М. М., Кучером К. М., которая запоминает двоичные пакеты данных EK-500 различной длины в файлах формата .ek5. Каждый файл .ek5 содержит данные следующих типов: вертикальные профили коэффициента объемного обратного рассеяния SV (дБ), значения силы цели детектированных акустических объектов TS (дБ), определенные эхолотом показания глубины и навигационную информацию, полученную от спутниковой навигационной системы. При обработке гидроакустического материала использовались программы постобработки Echoview 3.45 и программные разработки Артёмова Ю. Г. SimEK5 и WaveLens 7.0 [7–8].

Измерения температуры выполнялись с помощью судового CTD-зонда Idronaut Ocean Seven 320 plus, а также профилирующего CTD-зонда «JOGOS» (модель ASTD152-ALC-R02, серийный номер 0878) японской компании JFE Advantech. Зонд был оснащен датчиками давления, температуры, электропроводности, хлорофилла, мутности и растворенного кислорода. Измерения проводились в режиме вертикального профилирования с дискретностью 1 секунда (интервал 1000 мс).

Исследования в рейсе 138 ЦКП НИС «Профессор Водяницкий» выполнялись с 14 ноября по 8 декабря 2025 г. В данной работе проанализированы гидроакустические данные, полученные с 26 ноября по 5 декабря 2025 г., охватывающие Кавказский и Крымский шельф, вдоль

побережья от г. Анапы до п. Морское, Керченский пролив и предпролив. Карта станций экспедиции, на которых снимались CTD-профили, а также выполнялся комплекс биолого-физических исследований, приведена на рис. 1.

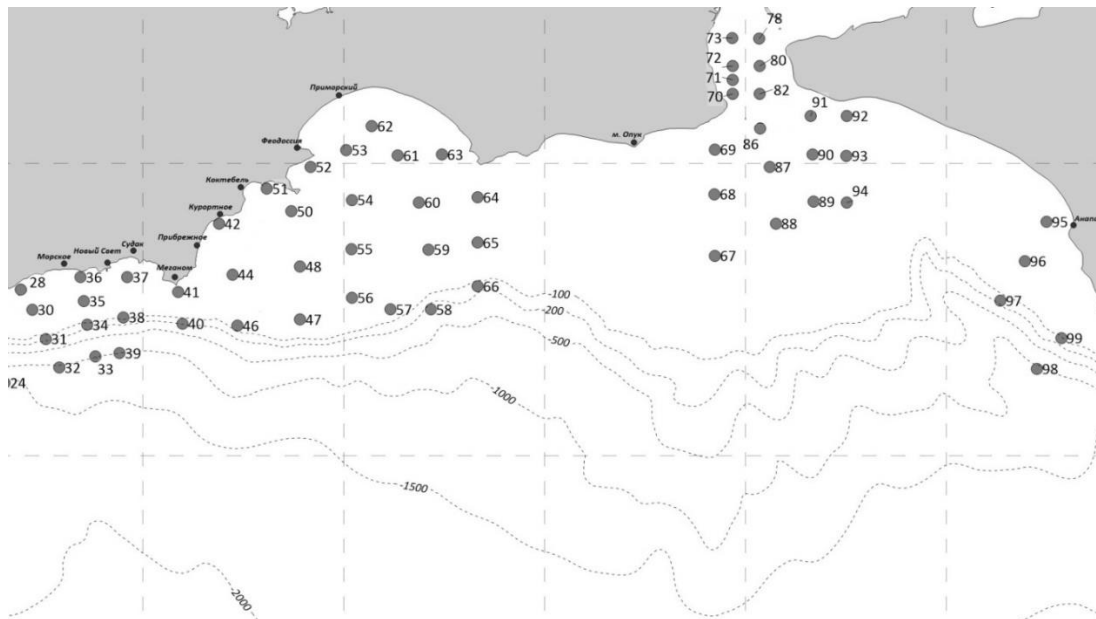


Рис. 1. Район выполнения исследований. Точками отмечено положение дрейфовых станций.
Составлено авторами

Fig. 1. Research area. The position of drifting stations is marked with dots. Compiled by the authors

Акустическая съемка проводилась в светлое время суток на переходах между станциями.

Результаты и их обсуждение

На рис. 2 показаны результаты регистрации эхоинтенсивности в придонном 10-метровом слое, пересчитанной на длину галса эхосъемки.

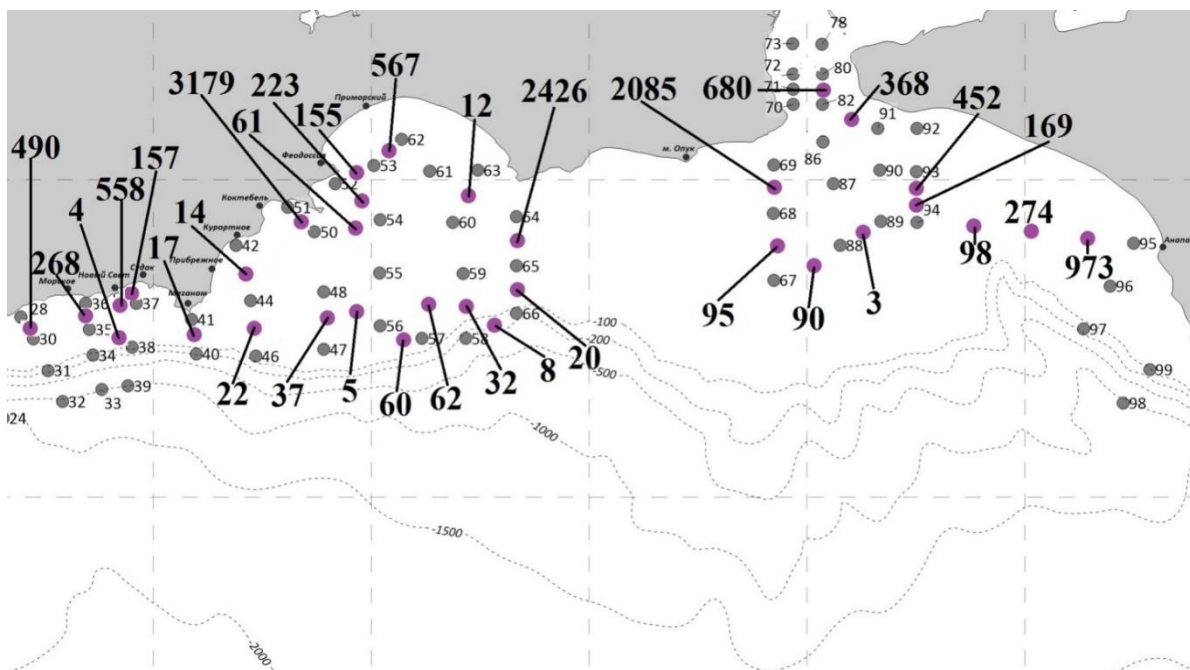


Рис. 2. Придонная эхоинтенсивность (NASC), m^2/nmi^2 на галсах между станциями.

Составлено авторами

Fig. 2. Bottom echo intensity (NASC), m^2/nmi^2 on turns between stations. Compiled by the authors

Отмечена неоднородность (разница в десятки раз) эхоинтенсивности между близко находящимися станциями, особенно ярко выраженная в Феодосийском заливе, где зафиксированы максимальные значения эхоинтенсивности. На рис. 3–5 представлены фрагменты эхограмм рыбных скоплений, соответствующих значениям $Sa = 2426, 567, 3179 \text{ m}^2/\text{nm}^2$ соответственно.

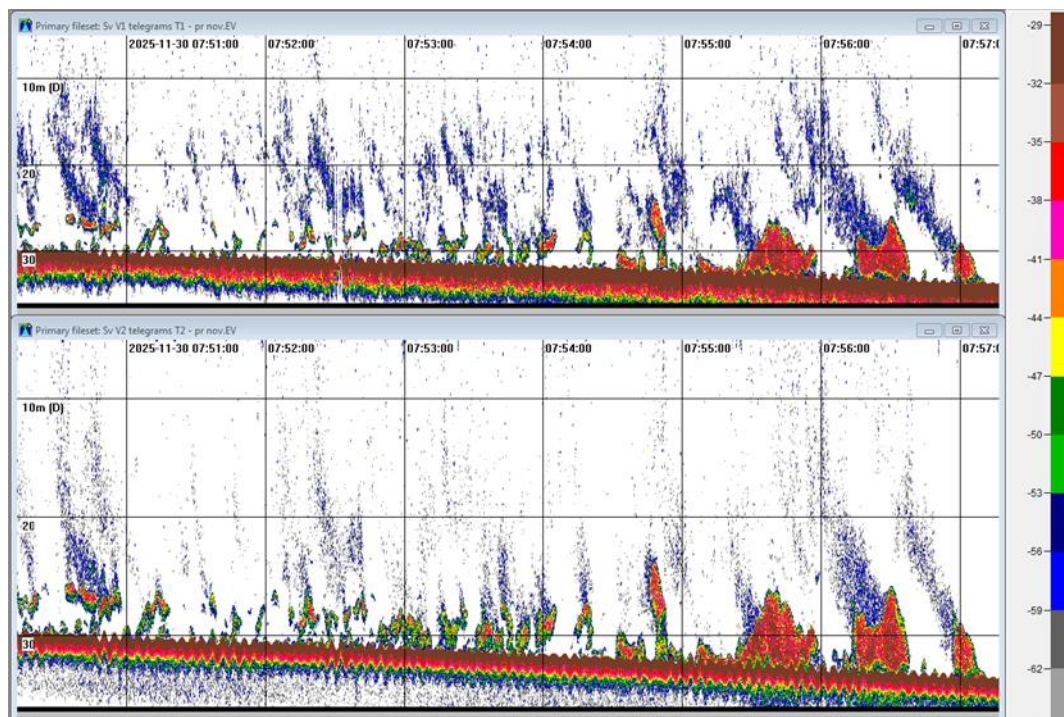


Рис. 3. Эхозапись 1 между станциями 64–65 от 30.11.2025. Глубина 30 м. $Sa = 2426 \text{ m}^2/\text{nm}^2$.

Составлено авторами

Fig. 3. Echo recording 1 between stations 64–65 from 30.11.2025. Depth 30 m. $Sa = 2426 \text{ m}^2/\text{nm}^2$.

Compiled by the authors

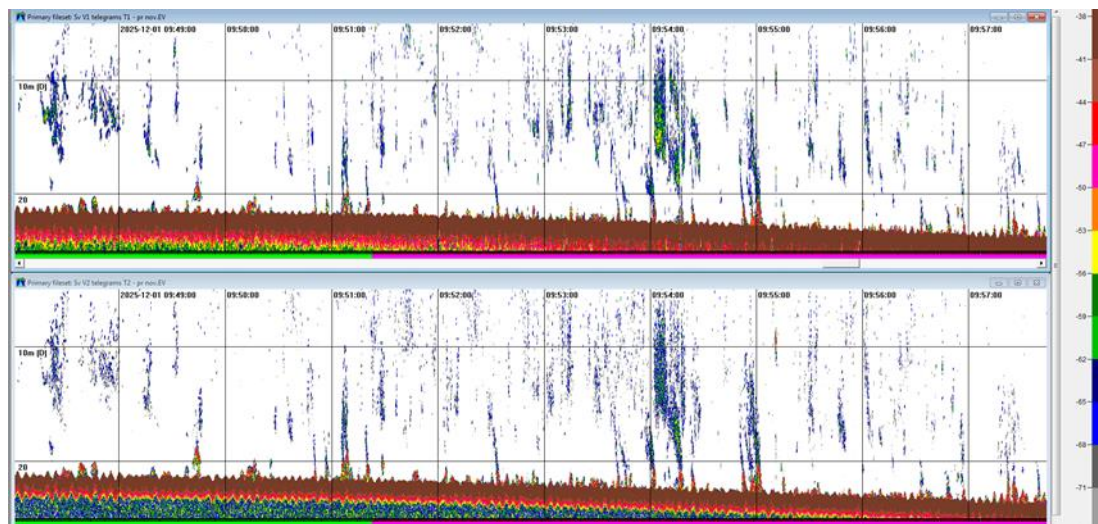


Рис. 4. Эхозапись 2 между станциями 53–62 от 01.12.2025. Глубина 22 м. $Sa = 567 \text{ m}^2/\text{nm}^2$.

Составлено авторами

Fig. 4. Echo recording 2 between stations 53–62 from 01.12.2025. Depth 22 m. $Sa = 567 \text{ m}^2/\text{nm}^2$.

Compiled by the authors

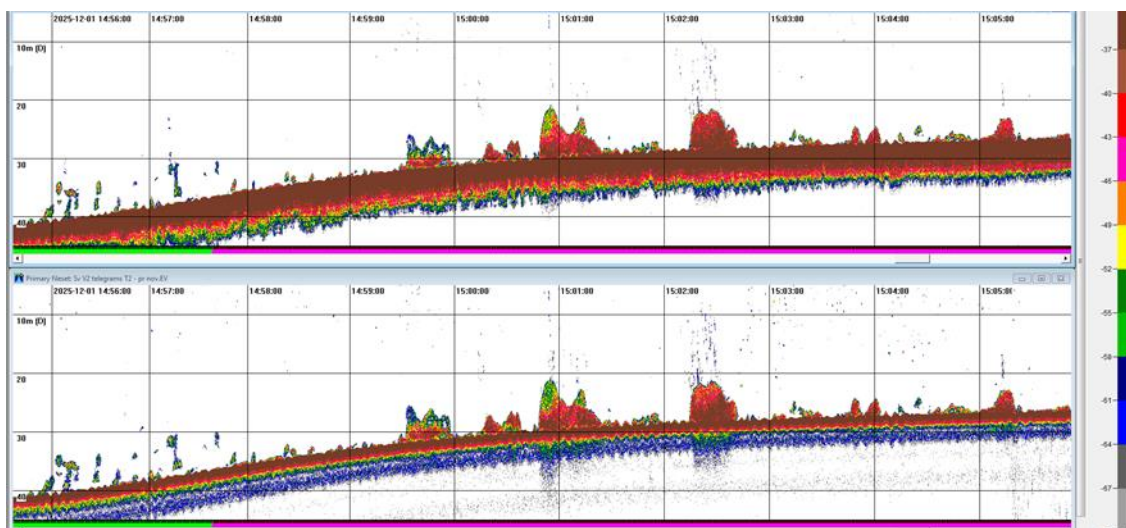


Рис. 5. Эхозапись 3 между станциями 50–51 от 01.12.2025. Глубина 30 м. $S_a = 3179 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$.

Составлено авторами

Fig. 5. Echo recording 3 between stations 50–51 from 01.12.2025. Depth 30 m. $S_a = 3179 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$.

Compiled by the authors

Также в ходе рейса на ряде станций проводилась подводная видеосъемка для видеофиксации объектов морской фауны. На рис. 6 приведен характерный фрагмент придонной видеозаписи плотного скопления рыб на глубине 73 м, полученной в ночное время на станции 47.



Рис. 6. Видеофрагмент плотного скопления рыбы на станции 47, глубина 73 м. Видео и фото сделаны авторами

Fig. 6. Video fragment of a dense fish school at station 47, depth 73 m. Video and photo taken by the authors

Примечательно, что полученные на галсах акустической съемки в районе станции 47 значения эхоинтенсивности ($5\text{--}60 \text{ m}^2/\text{nmi}^2$) на порядки меньше, чем S_a на прибрежных галсах (до

3179 m^2/nm^2), что, с учетом рис. 6, дает визуальное представление о существенной неравномерности распределения рыбных биомасс в позднесенний сезон в Феодосийском заливе.

Часто при анализе распределения промысловых запасов рыб Черного моря, в частности, хамсы, исследуют изменчивость термохалинных характеристик вод по значениям температуры поверхностных вод [3–4, 9–11]. В ходе проведения рейса зафиксировано изменение температуры воздуха в пределах 8,0–17,7 °С с трендом уменьшения постепенно с востока на запад. Температура поверхности моря изменялась в узких пределах, от 14,3 до 16,0 °С, и была, практически, равномерно распределена в районе исследований. В настоящем исследовании также был проведен анализ профилей CTD-зондирования в Феодосийском заливе на большинстве станций Феодосийского залива. На рис. 7 приведен типичный пример CTD-профиля на станции 47.

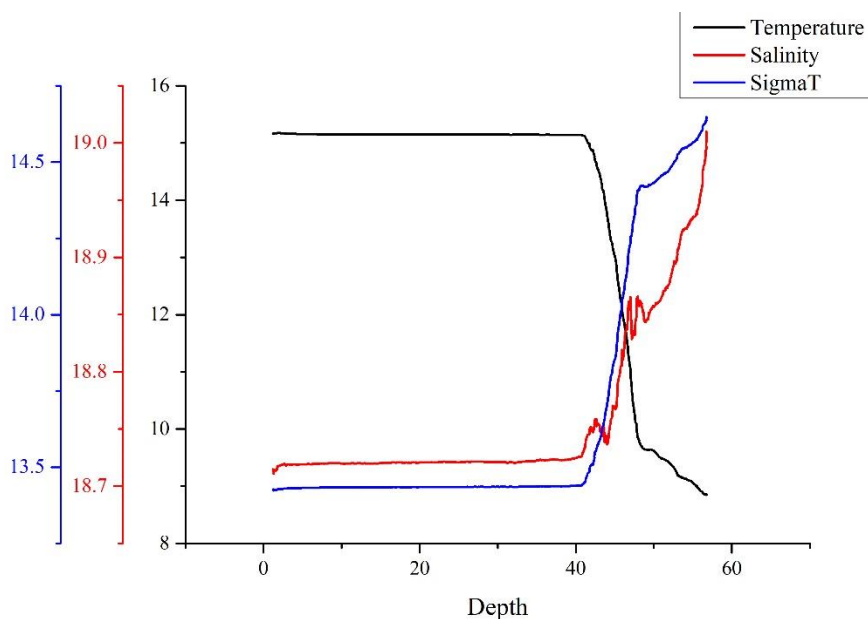


Рис. 7. Гидрологический профиль, полученный на станции 47 CTD-зондом Idronaut Ocean Seven 320 plus. Составлено авторами

Fig. 7. Hydrological profile obtained at station 47 CTD by the Idronaut Ocean Seven 320 plus probe. Compiled by the authors

По данным CTD-зондирования было зафиксировано состояние акватории за период с 26 ноября по 5 декабря 2025 г.:

1. В исследуемый период (поздняя осень – начало зимы) наблюдается типичная для этого времени года картина: от поверхности до дна происходит интенсивное выхолаживание и вертикальное перемешивание, однако на большинстве станций сохраняется четко выраженная стратификация.

2. На шельфе Феодосийского залива термохалинное распределение однородно – верхний перемешанный слой простирается до дна.

3. За пределом шельфовой зоны под верхним перемешанным слоем залегает мощный слой скачка температуры (термоклин), где температура резко падает с глубиной.

4. В придонных слоях глубже 30–50 м температура стабильно низкая, понижалась до 8,7–9,0 °С, что характерно для холодного промежуточного слоя Черного моря, сформировавшегося во время предыдущего холодного сезона.

На рис. 8 показана батиметрическая карта Феодосийского залива, на которой пунктиром показана граница прибрежной зоны, характеризующейся наличием перемешанного слоя от поверхности до дна, в отличие от открытой зоны, где наблюдается подобное летней вертикальное распределение температуры, включающее в себя верхний квазиоднородный слой, сезонный слой скачка, слой уменьшения градиентов температуры [12]. Также на рис. 8 значками

показано расположение станций, а цифры 1–3 отмечают расположение галсов эхосъемки, соответствующих фрагментам эхозаписи на рис 3–5.

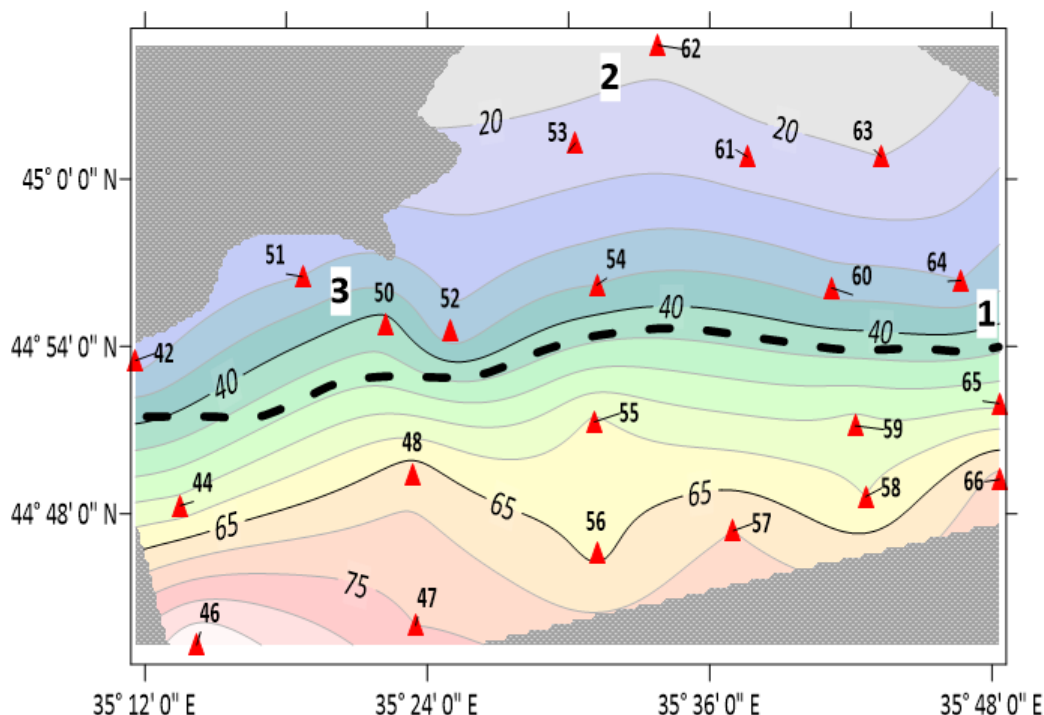


Рис. 8. Батиметрическая карта Феодосийского залива. Пунктирной линией показана граница прибрежной зоны, характеризующейся наличием перемешанного слоя от поверхности до дна.

Составлено авторами

Fig. 8. Bathymetric map of the Feodosia Bay. The dotted line shows the boundary of the coastal zone, which is characterized by a mixed layer from the surface to the bottom. Compiled by the authors

Как показывает рис. 7, наиболее плотные придонные скопления рыбы встречаются в прибрежной зоне, полностью заполненной теплой водой верхнего квазиоднородного слоя. Эта особенность, а также характерные эхозаписи (схожие с зимними эхозаписями кильки в Каспийском море), влияние температурного фактора, ход миграций через Керченский пролив, сила цели и размерные характеристики подтверждают, что в рейсе 138 ЦКП НИС «Профессор Водяницкий» было отмечено начало образования, а также миграции зимовальных скоплений хамсы.

Гидроакустические исследования, охватывающие Кавказское и Крымское побережье и Керченский пролив в осенне-зимний период, проводились впервые. Сравнить полученные эхограммы со схожими пока не представляется возможным. В дальнейшем работы будут продолжены.

Заключение

В период с 26 ноября по 5 декабря 2025 г. исследуемая акватория находилась в фазе активной осенней трансформации. Процессы охлаждения и ветрового перемешивания постепенно разрушают летний термоклин, вовлекая в циркуляцию все более глубокие слои. Однако на момент окончания съемки вертикальная стратификация сохранялась, а в некоторых районах фиксировались сложные неоднородности, связанные с динамикой вод.

По результатам гидроакустических исследований можно отметить, что мощные плотные стаи хамсы находятся на границе теплых и холодных вод и не заходят в холодный слой. На данном этапе исследований можно сделать вывод об обнаружении начала хода миграций хамсы и начала образования зимовальных скоплений.

Список источников

1. Состояние биологических ресурсов Черного и Азовского морей : справ. пособие / под ред. В. Н. Яковлева. Керчь, 1995. 64 с.
2. Зуев Г. В. Современное состояние популяции хамсы *engraulis encrasicolus* (L.) (pisces: engraulidae), зимующей у побережья Восточного Крыма и Северного Кавказа // Морской биологический журнал. 2019. Т. 3, № 4. С. 56–68.
3. Панов Б. Н., Спиридонова Е. О., Матвеев А. М., Горюнова П. Ю. Возможности краткосрочного прогнозирования эффективности активного промысла хамсы и шпрота в Черном море // Труды ЮгНИРО. 2017. Т. 54. С. 42–50.
4. Панов Б. Н., Смирнов С. С., Спиридонова Е. О. Океанографические условия осенней миграции и промысла черноморской хамсы у берегов Крыма в 2021 году // Водные биоресурсы и среда обитания. 2023. Т. 2, № 2. С. 30–39.
5. Operator manual Simrad EK500. Fishery research echo sounder. 1996. 232 p.
6. Гаврилов Е. Н., Игнашкин В. А., Ратушный С. В. Методическое пособие по использованию научного эхолота EK500. Мурманск : Изд-во ПИНРО, 2003. 134 с.
7. Artemov Yu. G. Software support for investigation of natural methane seeps by hydroacoustic method // Морской экологический журнал. 2006. Vol. 5, No.1. P. 57–71.
8. Артёмов Ю. Г., Егоров В. Н. Перспективы применения высокочастотных гидроакустических методов в океанографии // Системы контроля окружающей среды. 2024. № 4(58). С. 57–72.
9. Белоусов В. Н., Пятинский М. М., Шляхов В. А., Кульба С. Н., Кивва К. К. Роль пространственно-временной изменчивости температуры воды в динамике уловов хамсы в северо-западной части Чёрного моря // Труды ВНИРО. 2024. Т. 198. С. 75–86.
10. Панов Б. Н., Шляхов В. А., Спиридонова Е. О., Кочергин А. Т. Об использовании показателей региональной атмосферной циркуляции для оценки особенностей миграции хамсы в северной половине Чёрного моря // Труды ВНИРО. 2025. Т. 202. С. 103–112.
11. Панов Б. Н., Смирнов С. С., Спиридонова Е. О. Многолетние изменения океанографических факторов осенней миграции черноморской хамсы к берегам Крыма по данным ИСЗ в 2000–2021 годах // Труды ВНИРО. 2023. Т. 192. С. 152–161.
12. Горячкин Ю. Н., Кондратьев С. И., Ляшенко С. В. Особенности пространственного распределения гидрологических и гидрохимических характеристик в Феодосийском заливе в августе 2002 г. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2004. Вып. 10. С. 58–69.

Сведения об авторах

Т. В. Помогаева – кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник отдела радиационной и химической биологии.

Ю. Г. Артёмов – кандидат географических наук, старший научный сотрудник отдела радиационной и химической биологии.

Е. Г. Сахонь – младший научный сотрудник лаборатории микропланктона, отдела планктона.

Information about the authors

T. V. Pomogaeva – PhD in Agricultural Sciences, Junior Researcher of the Department of Radiation and Chemical Biology.

Yu. G. Artyomov – PhD in Geographical Sciences, Senior Researcher of the Department of Radiation and Chemical Biology.

E. G. Sakhon – Junior Researcher of the Laboratory of Microplankton, Department of Plankton.

Статья поступила в редакцию 07.05.2026; одобрена после рецензирования 13.05.2026; принята к публикации 19.05.2026.

The article was submitted 07.05.2026; approved after reviewing 13.05.2026; accepted for publication 19.05.2026.

© Помогаева Т. В., Артёмов Ю. Г., Сахонь Е. Г., 2026.

«Распределение рыбных скоплений в осенне-зимний период 2025 года в прибрежных районах Крыма и Кавказа по результатам гидроакустических исследований под влиянием температурного фактора» [Помогаева Т. В., Артёмов Ю. Г., Сахонь Е. Г.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 597.58

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-22

EDN: YRZWTO

Некоторые биологические показатели камбалы Шренка Амурского залива (Японское море) в весенний период 2023, 2024, 2025 гг.

Марина Михайловна Сергеева

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия

Sergeeva.MM@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-8675-9138

Аннотация. В водах Приморья камбала Шренка значительного промыслового значения не имеет и является в основном объектом любительского рыболовства. В данной работе рассмотрены биологические показатели камбалы Шренка Амурского залива по материалам 2023, 2024 и 2025 гг. Весомых межгодовых различий по размерно-массовым показателям у рыб не было выявлено. Установлено, что в Амурском заливе средняя длина камбалы Шренка составила $33,3 \pm 0,26$ см в 2023 г., $32,8 \pm 0,25$ см в 2024 г. и $33,8 \pm 0,21$ см в 2025 г., средняя масса 363 ± 11 г, 363 ± 21 г и 377 ± 07 г соответственно. Самки были крупнее самцов. Соотношение полов в 2023, 2024 гг. составило 1,5 : 1, с преобладанием самок. В 2025 г. – 1 : 1 с небольшим преобладанием самцов. Камбала Шренка встречалась с гонадами на IV и V стадиях зрелости.

Ключевые слова: камбала Шренка, Амурский залив, размерно-массовая характеристика, зависимость длина–масса, пол, зрелость гонад

Для цитирования: Сергеева М. М. Некоторые биологические показатели камбалы Шренка Амурского залива (Японское море) в весенний период 2023, 2024, 2025 гг. // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 210–216.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 210–216.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

Some biological indicators of Schrenk's flounder of Amur Bay (Sea of Japan) in the spring period of 2023, 2024, 2025

Marina M. Sergeeva

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
Sergeeva.MM@dgtru.ru, ORCID: 0000-0001-8675-9138

Abstract. In Primorye waters, Schrenk's flounder is of little commercial value and is primarily a target for recreational fishing. This paper examines the biological parameters of Schrenk's flounder in Amur Bay based on data from 2023, 2024, and 2025. No significant inter-annual differences in size or weight were found. In Amur Bay, the average length of Schrenk's flounder was 33.3 ± 0.26 cm in 2023, 32.8 ± 0.25 cm in 2024, and 33.8 ± 0.21 cm in 2025, with average weights of 363 ± 11 g, 363 ± 21 g, and 377 ± 0.7 g, respectively. Females were larger than males. The sex ratio in 2023 and 2024 was 1.5:1, with a predominance of females. In 2025, it

was 1:1, with a slight predominance of males. Schrenk's flounder were encountered with gonads at stages IV and V of maturity.

Keywords: Schrenk's flounder, Amur Bay, size-weight characteristics, length-weight relationship, sex, gonad maturity

For citation: Sergeeva M. M. Some biological indicators of Schrenk's flounder of Amur Bay (Sea of Japan) in the spring period of 2023, 2024, 2025. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):210–216. (In Russ.).

Введение

В 2025 г. добыча камбал составила 71 тыс. т. По данным Рыбного союза, с начала января по 5 мая 2025 г. объём вылова камбалы на Дальнем Востоке сократился на 25 % по сравнению с аналогичным периодом прошлого года. На Дальний Восток приходится до 83 % всего отечественного улова. Динамика добычи камбал может меняться под влиянием состояния запасов, экономических факторов, изменений в рыболовной политике и других условий. Камбала Шренка (Schmidt, 1904) составляет значительную долю в промысловых уловах камбал на Сахалине и юге Курильских островов. В 2021 г. вид был включён в Красный список угрожаемых видов IUCN. Потенциальные угрозы – чрезмерный промысел и деградация чувствительных мест обитания в мелководных водах, где встречается эта рыба.

Камбала Шренка внешне немного похожа на японскую камбалу [1]. Ареал обитания – вдоль всего побережья Приморья. Она не является первостепенным промысловым видом. В основном добывается рыбаками в качестве прилова к другим видам камбалам. Она является прибрежным видом с ярко выраженными сезонными миграциями. Также заходит в реки и озёра [2].

Максимальная длина, которой этот вид камбал может достигать – 50 см, и масса при этом может быть 2,5 кг. В уловах чаще всего встречаются рыбы длиной 25–35 см [3].

Цель данного исследования – провести сравнительный анализ некоторых биологических показателей камбалы Шренка Амурского залива (Японское море) по данным 2023, 2024, 2025 гг.

Объекты и методы исследований

Работа выполнена на материале, предоставленном автору рыбаком. Камбалу ловили с лодки на спиннинг с приманкой на глубине 4–5 м в Амурском заливе, весной 2023, 2024 и 2025 гг. (таблица).

Материал, положенный в основу работы

The material used as the basis of the work

Район работ	Год	Кол-во биологических анализов, экз.	
		Самцы	Самки
Амурский залив	2023	41	59
Амурский залив	2024	41	59
Амурский залив	2025	53	47
	Всего	135	165

При проведении биологического анализа были использованы стандартные ихтиологические методики [4].

Результаты и их обсуждение

В 2023 г. длина камбалы Шренка в Амурском заливе варьировала от 28,6 до 37,9 см, со средним значением $33,3 \pm 0,26$ см. Наибольшая длина была у самок – 37,9 см, у самцов максимальная длина составила 36,9 см, на 1 см меньше, чем у самок.

В 2023 г. модальный класс как у самцов (45 %), так и у самок (32,5 %) составили особи длиной от 32,1 до 34 см. В самой крупной размерной группе от 36,1 до 38 см преобладали самки (рис. 1).

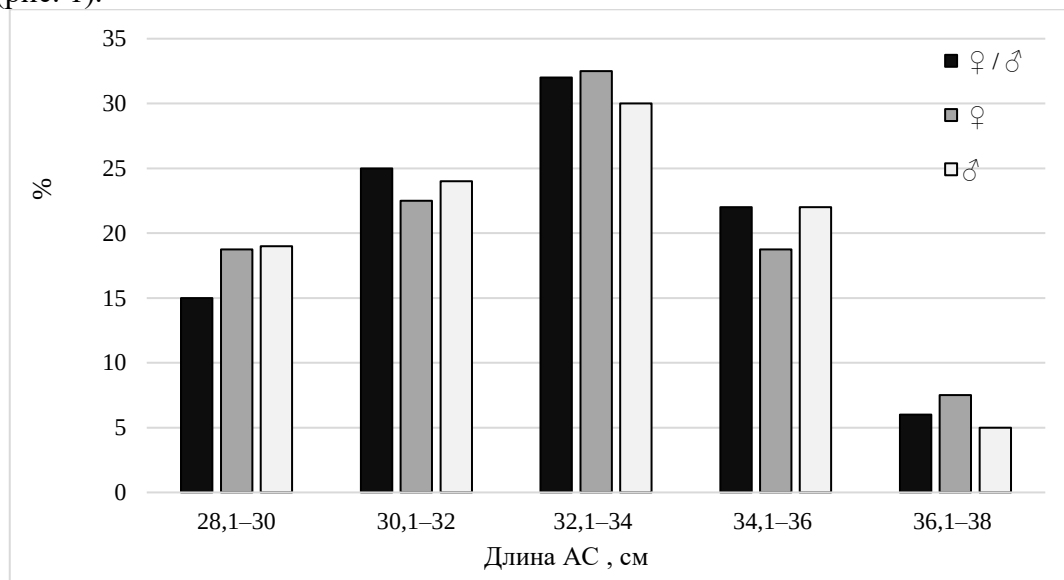


Рис. 1. Размерный состав камбалы Шренка в 2023 г.

Fig. 1. The size composition of Schrenk's flounder in 2023

В 2024 г. длина рыб практически не изменилась по сравнению с предыдущим годом. Её вариация была в пределах от 28,5 до 37,7 см, при среднем показателе $32,8 \pm 0,25$ см.

Как у самцов, так и у самок преобладали особи размерной группы 32,1–34 см (46 и 44 % соответственно). Самцы численно преобладают в мелких (28,1–30 см) и средних (34,1–36 см) группах. Среди самых крупных рыб преобладали самки – 7 %, в отличие от самцов – 2 % (рис. 2).

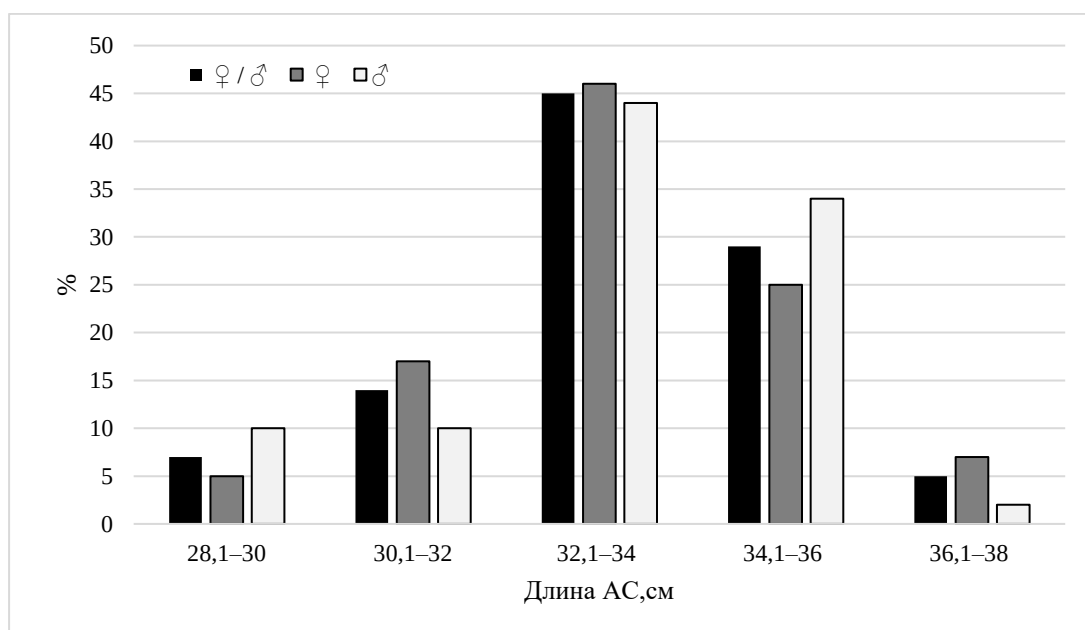


Рис. 2. Размерный состав камбалы Шренка в 2024 г.

Fig. 2. The size composition of Schrenk's flounder in 2024

2025 г. отмечен увеличением размеров камбалы по сравнению с 2023 и 2024 гг. Длина рыб была в диапазоне 30,1–38 см, при средней длине $33,8 \pm 0,21$ см. Самцы в улове были немного мельче (37,3 см), чем самки (38 см).

Большинство камбал, в независимости от пола, находились в размерном диапазоне 32–36 см (78 %), рис. 3.

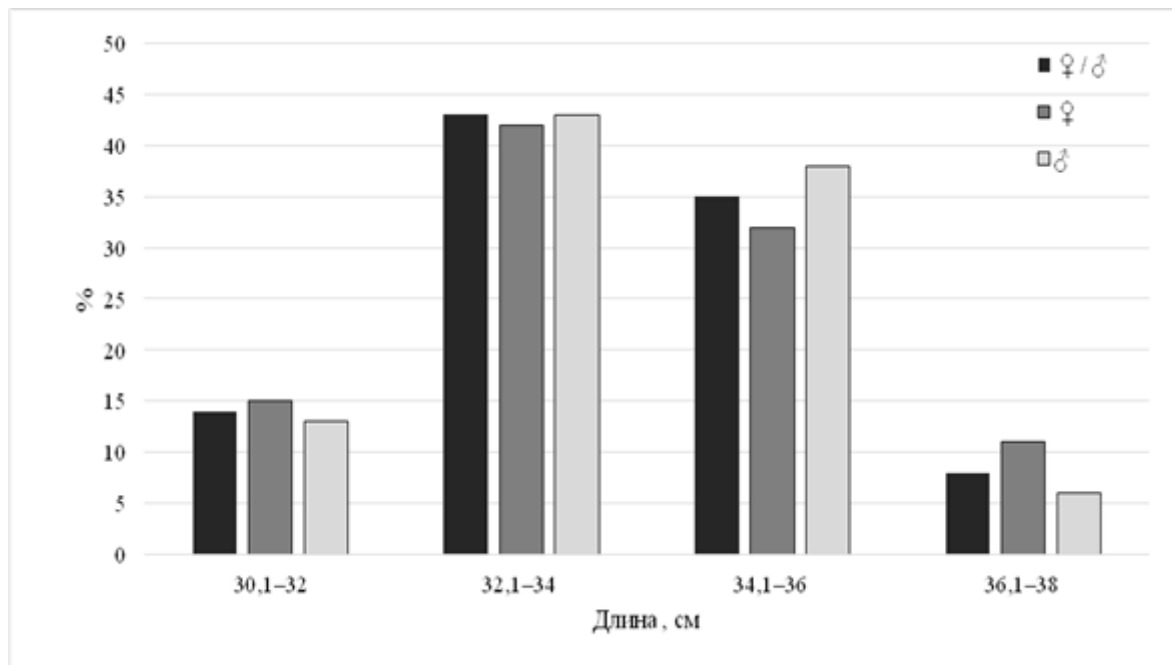


Рис. 3. Размерный состав камбалы Шренка в 2025 г.
Fig. 3. The size composition of Schrenk's flounder in 2025

Согласно литературным данным, основную долю улова камбалы Шренка составляют особи размером от 24 до 38 см [5]. По результатам наших исследований, в течение трёх лет доминировали особи в размерной категории от 32,1 до 34 см.

В 2023 и 2024 гг. минимальная длина камбалы Шренка была практически одинаковой. В 2025 г. заметно увеличение длины на 1,5 см, по сравнению с предыдущими годами.

Показатели максимальной длины в годы исследований существенных различий не имели.

В 2025 г., в отличие от 2023 и 2024 гг., в улове отсутствует размерная группа от 28,1 до 30 см, что соответствует увеличению минимальной длины. Распределение размерных показателей камбалы Шренка в Амурском заливе в 2025 г. стало более смещенным в сторону крупных особей по сравнению с 2023 и 2024 гг. Это может свидетельствовать о лучшем росте или меньшей доле молодых (мелких) особей в выборке 2025 г.

Весной 2023 г. масса камбалы Шренка была в диапазоне 301–400 г, со средним показателем $363,2 \pm 11$ г.

Данный год показал выраженный половой диморфизм. Модальный класс самцов был в диапазоне 341–360 г (37 %), модальный класс самок сместился в сторону более крупных особей – 361–380 г (42,5 %). Численность самцов была выше над самками в наименьшей массовой категории (300–320 г) на 5,7 %. В самой крупной группе (381–400 г) доминировали самки, чья доля превысила долю самцов на 7,3 % (рис. 4).

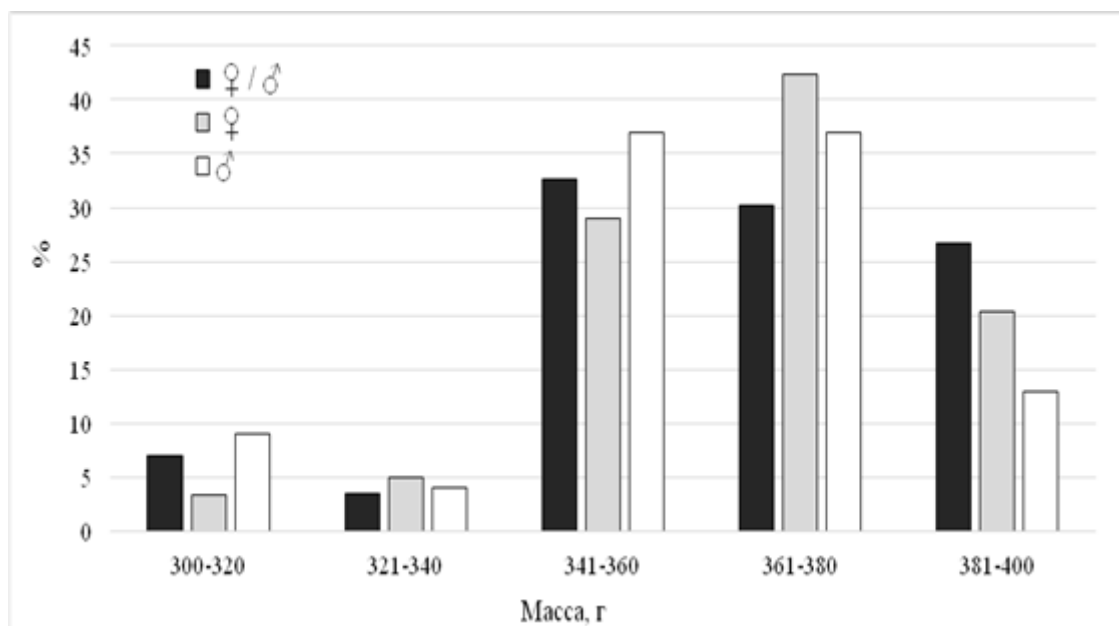


Рис. 4. Массовый состав камбалы Шренка в 2023 г.

Fig. 4. Mass composition of Schrenk's flounder in 2023

В 2024 г. минимальная масса камбалы, по сравнению с предыдущим годом, изменилась всего на 1 г в меньшую сторону, составив 300 г. Её максимальные показатели были, как и в 2023 г. – 400 г, а средний 363,2. В связи с этим средний размер тоже не имел межгодовых отличий.

Среди самок большинство особей имели массу от 361 до 380 г (36 %), большинство самцов были в массовом диапазоне 341–360 г (36 %), рис. 5.

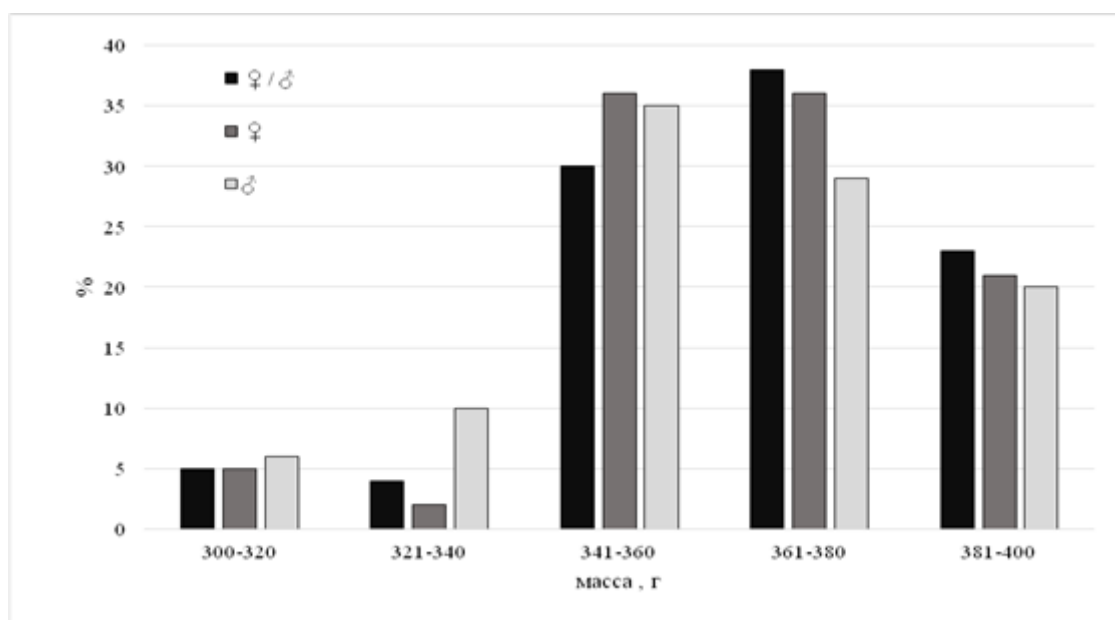


Рис. 5. Массовый состав камбалы Шренка в 2024 г.

Fig. 5. Mass composition of Schrenk's flounder in 2024

В 2025 г. масса рыб была незначительно выше – от 306 до 419 г. Максимальные массовые показатели самок (415 г) были чуть выше максимальной массы самцов (419 г).

Более 35 % рыб находятся в диапазоне 381–400 г. В группе 321–340 г самки отсутствовали, но при этом доля самцов составила 8 % (рис. 6).

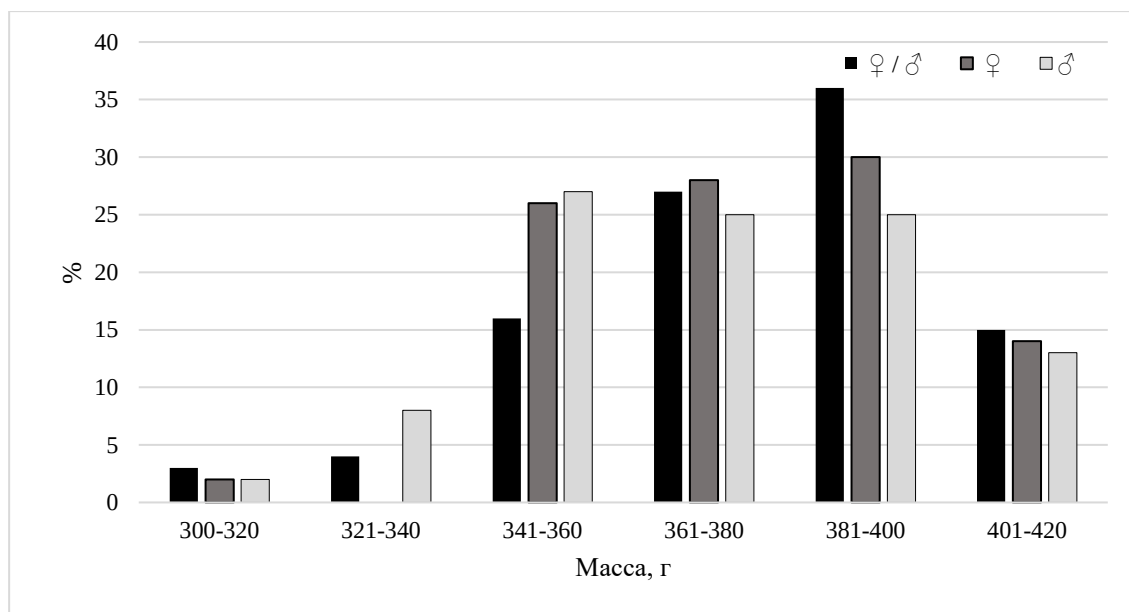


Рис. 6. Массовый состав камбалы Шренка в 2025 г.

Fig. 6. Mass composition of Schrenk's flounder in 2025

Согласно литературным источникам, максимальный вес камбалы Шренка может достигать 2500 г, в промысловых уловах обычно преобладают особи массой 200–800 г [6]. В уловах 2023 г. преобладали особи массой от 341 до 360 г, в 2024 г. – от 361 до 380 г. В 2025 г. доминировали рыбы массой 381–400 г, при этом, в отличие от предыдущих лет, появились более крупные особи – 401–419 г.

В 2023 и 2024 гг. показатели минимальной и максимальной массы камбалы Шренка была практически одинаковы – 301, 300 и 400 г. В 2025 г. эти показатели немного увеличиваются, составив 306 и 419 г.

Зависимость между длиной и массой камбалы Шренка в годы исследования характеризуется степенным уравниванием аппроксимации. Наблюдается чёткая положительная корреляция между длиной и массой. С увеличением длины масса рыбы закономерно возрастает. Наибольшее нарастание массы наблюдается при достижении рыбами длины 32 см.

Во многих популяциях камбал, особенно среди более крупных и старых особей, наблюдается значительное преобладание самок над самцами. Общее соотношение может быть существенно смещено от ожидаемого – 1 : 1 [7]. В 2023 и 2024 гг. заметно существенное преобладание самок – 1,5 : 1. Соотношение полов камбалы Шренка в 2025 г. было 1 : 1. В отличие от предыдущих годов незначительно преобладали самцы.

В 2023 г. у большинства особей камбалы Шренка гонады находились на IV стадии зрелости. Среди самцов таких особей было 56 %, а самок – 54 %. V стадию гонад (текущую) имели самцы – 44 % и самки – 46 %, что соответствует нересту камбалы Шренка в Амурском заливе с апреля по май.

В 2024 г. чуть более половины самцов имели гонады на IV стадии зрелости. У 66 % самок гонады находились на V стадии зрелости.

В 2025 г., как и в предыдущих годах, гонады у камбалы Шренка находились на IV и V стадиях. У самцов преобладали особи с V стадией зрелости (53 %), а у самок – на IV стадии зрелости (62 %).

Заключение

Pleuronectidae являются значимыми компонентами донных сообществ и важнейшими объектами промысла в северной части Тихого океана, включая акваторию Японского моря.

Установлено, что длина и масса рыб практически не отличались в годы исследования. Соотношение полов варьировалось в зависимости от года – в 2023, 2024 гг. в большинстве присутствовали самки, а в 2025 г. незначительно преобладали самцы.

Результаты работы могут быть использованы для накопления биостатистического материала, при планировании и организации работ по охране и эксплуатации запасов камбалы Шренка.

Список источников

1. Вдовин А. Н., Соломатов С. Ф., Зуенко Ю. И. Динамика численности японской камбалы *Pseudopleuronectes yokohamae* в заливе Петра Великого (Японское море) и факторы, её определяющие // Вопросы рыболовства. Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. Москва. 2013. Т. 14, № 3(55). С. 450–459.
2. Лапшин А. Ф. Видовое разнообразие и экологические характеристики камбал приморских вод России. Хабаровск : АмГУ, 2012. 256 с.
3. Резанов Я. А. Морфометрический анализ структурных признаков дальневосточной камбалы рода *Pseudopleuronectes* // Проблемы океанологии и рыбохозяйственных исследований. Владивосток : Дальнаука, 2010. Вып. 10. С. 56–64.
4. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. Москва : Пищ. пром-сть, 1966. 376 с.
5. Электронная Сахалинская энциклопедия [Электронный ресурс]. URL: <https://sakhwiki.ru/wiki/> (дата обращения : 15.04.2026).
6. Тихоокеанская научно-исследовательская станция. Материалы исследований дальневосточных рыб : монография. Владивосток : Дальнаука, 2022. 612 с.
7. Павлов Д. С., Савваитова К. А., Соколовский А. М. Теория динамики стада рыб как биологическая основа рациональной эксплуатации и воспроизводства рыбных ресурсов. М. : Пищ. пром-сть, 1974. 447 с.

Сведения об авторе

М. М. Сергеева – старший преподаватель кафедры «Водные биоресурсы и аквакультура».

Information about the author

M. M. Sergeeva – Senior Lecturer of the Department of Water Bioresources and Aquaculture.

Статья поступила в редакцию 23.03.2026; одобрена после рецензирования 13.04.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 23.03.2026; approved after reviewing 13.04.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Сергеева М. М., 2026.

«Некоторые биологические показатели камбалы Шренка Амурского залива (Японское море) в весенний период 2023, 2024, 2025 гг.» [Сергеева М. М.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

РЫБНОЕ ХОЗЯЙСТВО, АКВАКУЛЬТУРА И ПРОМЫШЛЕННОЕ РЫБОЛОВСТВО

Научная статья
УДК 639.3.06

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-23

EDN: ZBKTWB

**Анализ распределения объемов квот добычи (вылова)
краба-стригуна опилио по пользователям
в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне за 2019–2025 гг.**

Светлана Витальевна Сухорукова

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия
sukhorukova.sv@dgtru.ru

Аннотация. Проводится анализ динамики распределения общих допустимых уловов (ОДУ) краба-стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*) в разрезе категорий квот в пределах Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна за прогнозный период 2019–2025 гг. В рамках работы осуществлён анализ ключевых показателей, включающих объёмы ОДУ и структуру распределения квот между пользователями водных биологических ресурсов.

Ключевые слова: Дальневосточный рыбохозяйственный бассейн, крабы, общий допустимый улов (ОДУ), вылов, квоты, инвестиционные квоты

Для цитирования: Сухорукова С. В. Анализ распределения объемов квот добычи (вылова) краба-стригуна опилио по пользователям в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне за 2019–2025 гг. // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 217–229.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 217–229.

FISHERIES, AQUACULTURE AND INDUSTRIAL FISHERIES

Original article

**Analysis of the distribution of the volume of production (catch) quotas
for the Opilio cuttlefish by users in the Far Eastern Fisheries Basin
for 2019–2025**

Svetlana V. Sukhorukova

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russia
sukhorukova.sv@dgtru.ru

Abstract. The present study analyses the dynamics of the distribution of total allowable catches (TAC) of the snow crab (*Chionoecetes opilio*) by quota categories within the Far Eastern Fisheries Basin for the forecast period of 2019–2025. The work includes an analysis of key indicators, such as TAC volumes and the structure of quota allocation among users of aquatic biological resources.

Keywords: Far Eastern Fishery Basin, crabs, total allowable catch (TAC), catch, quotas, investment quotas

For citation: Sukhorukova S. V. Analysis of the distribution of the volume of production (catch) quotas for the Opilio cuttlefish by users in the Far Eastern Fisheries Basin for 2019–2025.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026; 76(2):217–229. (In Russ.).

Введение

Дальневосточный регион характеризуется высоким биоразнообразием морских биоресурсов, среди которых одно из ключевых промысловых значений имеют виды крабов: камчатский краб, стригун опилио (*Chionoecetes opilio*), синий краб (*Paralithodes platypus*), волосатый краб и др. Промысел данных гидробионтов представляет собой значимый сектор экономики Российской Федерации, обеспечивая занятость населения прибрежных территорий и экспорт высококачественной рыбопродукции.

Перспективность развития крабового промысла как ключевого направления морской индустрии региона обусловлена биологическими особенностями целевых видов и стабильным спросом на продукцию их переработки. При этом эффективное и устойчивое использование ресурсов невозможно без систематического контроля освоения запасов и оценки состояния популяций: дисбаланс в эксплуатации может привести к сокращению численности крабов и нарушению экологического равновесия.

Цель настоящего исследования – оценить текущее состояние промысловых запасов крабов и выявить тенденции их эксплуатации в Дальневосточном регионе России за последние годы.

Объекты и методы исследований

Исследование опирается на официальную статистическую отчётность Федерального агентства по рыболовству и Министерства сельского хозяйства РФ [1–20]. В качестве эмпирической базы использованы данные о распределении объёмов ОДУ крабов, а также структуре распределения квот – как между пользователями, так и по районам промысла.

Результаты и их обсуждение

Общий допустимый улов (ОДУ) краба-стригуна опилио распределён между восемью зонами и подзонами Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна (ДВРБ). Графическое представление распределения ОДУ по указанным территориальным единицам в период с 2019 по 2025 г. приведено на рис. 1.



Рис. 1. Распределение ОДУ за период 2019–2025 гг., тыс. т. Составлено автором
Fig. 1. Distribution of TAC for the period 2019–2025, thousand tons. Compiled by the author

Анализ графика демонстрирует, что динамика распределения объёмов общего допустимого улова (ОДУ) носит нестабильный характер. Ключевыми факторами, определяющими данную изменчивость, выступают:

- состояние запасов популяций краба-стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*);
- интенсивность промысловой нагрузки;
- отсутствие эффективно функционирующей системы мониторинга и пресечения незаконной добычи водных биоресурсов.

В структуре процентного распределения общего допустимого улова (ОДУ) по зонам и подзонам Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна (ДВРБ) за период 2019–2025 гг. лидирующую позицию занимает Северо-Охотоморская подзона с долей 56 %. Далее следуют: подзона Приморье (20 %), Восточно-Сахалинская подзона (12 %), Западно-Берингоморская зона (8 %), Карагинская подзона (2 %) и Западно-Сахалинская подзона (1,2 %). Наименьшие доли приходятся на Западно-Камчатскую и Петропавловско-Командорскую подзоны – менее 1 % каждая (рис. 2).

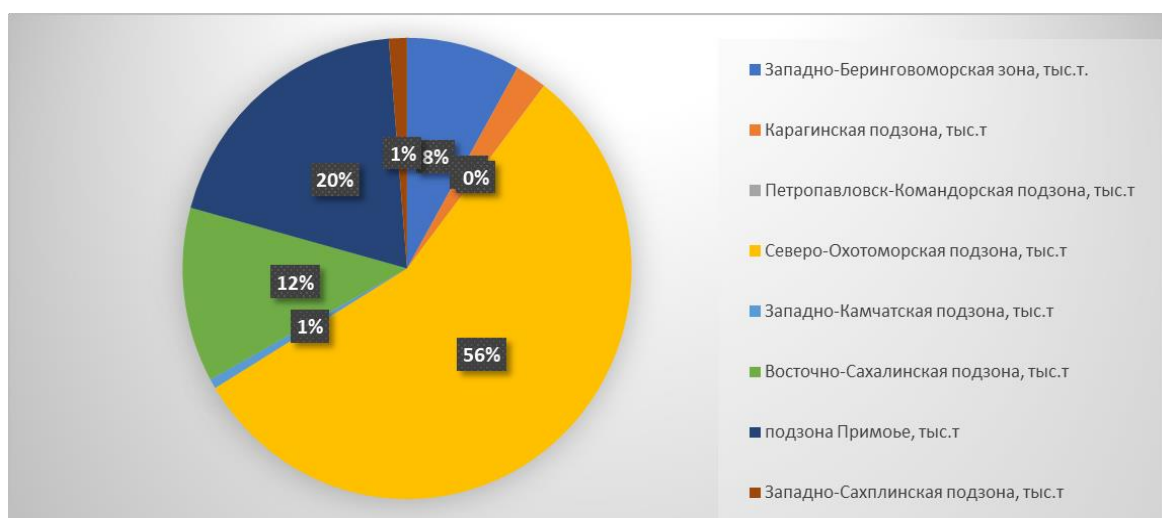


Рис. 2. Процентное соотношение ОДУ по зонам/подзонам за 2019–2025 гг. Составлено автором

Fig. 2. Percentage of TAC by zones/subzones for 2019–2025. Compiled by the author

Произведен анализ распределения части ОДУ применительно к видам квот. Выявлено, что ОДУ на краб-стригун опилио распределялся на квоты, предназначенные для осуществления промышленного рыболовства, и квоты, предоставленные в инвестиционных целях (в том числе размер части квоты добычи (вылова) крабов, предоставленной в инвестиционных целях после 31 декабря 2021 г. в инвестиционных целях в области рыболовства для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства, введенной после 1 января 2022 г.). Данные по распределению части ОДУ, утвержденного применительно к квоте, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Распределение части ОДУ по квотам и пользователям

Table 1

Distribution of a portion of the total discharged waters by quotas and users

	Западно-Камчатская подзона						
Краб-стригун опилио	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество пользователей	9	11	10	11	11	1	1

Промышленное рыболовство, т	168,194	99,675	92,217	96,66	88,66	3,546	3,532
Количество пользователей		2	2	2	2	5	5
Инвест. квоты, т		99,676	99,66	96,66	88,66	173,773	173,087
Всего, т	168,19	199,35	191,88	193,3	177,3	177,32	176,62
Северо-Охотоморская подзона							
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество пользователей	21	23	21	22	21	3	2
Промышленное рыболовство, т	20357,6	10490,6	10021,9	9254,24	8187,08	335,268	345,33
Количество пользователей		10	10	10	10	21	21
Инвест. квоты, т		10490,8	10184,9	9254,43	8381,45	16427,07	16920,08
Всего, т	20357,6	20981,4	20206,9	18508,7	16568,5	16762,34	17265,41
Подзона Приморье							
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество пользователей	10	13	12	12	12	12	11
Промышленное рыболовство, т	5387,04	5682,41	5689,17	5155,17	5005,29	5005,3	5430,212
Всего, т	5387,04	5682,41	5689,17	5155,17	5005,29	5005,3	5430,21
Западно-Сахалинская подзона							
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество пользователей	6	6	5	5	5	1	0
Промышленное рыболовство, т	499,85	249,5	249,5	248,5	248,5	5,74	0
Количество пользователей		1	1	1	1	2	0
Инвест. квоты, т		249,5	249,5	248,5	248,5	281,26	0
Всего, т	499,85	499	499	497	497	287	0
Восточно-Сахалинская подзона							
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество пользователей	3	3	3	3	3	3	3
Промышленное рыболовство, т	1590,5	1598,8	2269	3222	4977	4977	4976,5

Всего, т	1590,5	1598,8	2269	3222	4977	4977	4976,5
Западно-Беринговоморская зона							
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество пользователей	8	8	7	7	7		
Промышленное рыболовство, т	1645,55	804,037	822,05	984,375	1403,88		
Количество пользователей		3	3	3	3	7	7
Инвест. квоты, т		804,591	822,042	984,366	1403,862	2806,733	3525,479
Всего, т	1645,5	1608,63	1644,09	1968,74	2807,74	2806,733	3525,479
Карагинская подзона							
	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество пользователей	4	4	4	4	4		
Промышленное рыболовство, т	533,2	267,1	214,05	253,95	453,45		
Количество пользователей		3	3	3	3	7	7
Инвест. квоты, т		267,096	214,047	254,448	453,444	703,895	703,893
Всего, т	533,2	534,196	428,097	508,398	906,894	703,895	703,893

В табл. 2 представлено общее количество пользователей и объем распределения части ОДУ в период 2019–2025 гг.

Таблица 2

Качественные и количественные показатели распределения части ОДУ в период 2019–2025 гг.

Table 2

Qualitative and quantitative indicators of the distribution of part of the total allowable volumes in the period 2019–2025.

Краб-стригун опилио	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Количество пользователей, шт.	61	83	76	77	76	60	56
Всего, тыс. т	30,18	31,10	31,44	30,1	30,9	30,7	32,2

В ходе исследования выполнен структурный анализ распределения части общего допустимого улова (ОДУ) с дифференциацией по категориям квот. Выявлено, что для краба-стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*) ОДУ распределялся по двум функциональным категориям:

- квоты промышленного рыболовства – предназначенные для прямого освоения запасов в целях коммерческой реализации;
- инвестиционные квоты – выделяемые в рамках реализации инвестиционных обязательств (строительство судов, береговых перерабатывающих мощностей и т. д.) [22].

Распределение указанных квот производилось: Западно-Беринговоморская зона (рис. 3), Карагинская подзона (рис. 4), Северо-Охотоморская подзона (рис. 5), Западно-Камчатская подзона (рис. 6), Восточно-Сахалинская подзона (рис. 7), подзона Приморье (рис. 8), Западно-Сахалинская подзона (рис. 9).

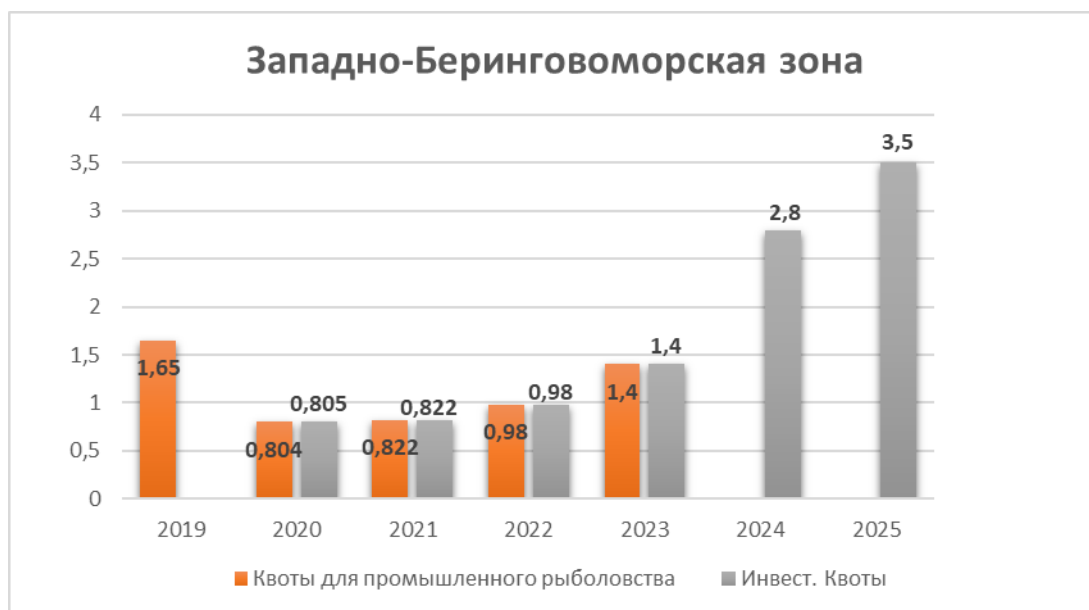


Рис. 3. Распределение объема квот в Западно-Беринговоморской зоне за период 2019–2025 гг.
Составлено автором

Fig. 3. Distribution of quota volumes in the West Bering Sea zone for the period 2019–2025.
Compiled by the author

Распределение квот в Западно-Беринговоморской зоне носит волнообразный характер. В 2024–2025 гг. квоты на краба-стригуна опиио выделялись только в инвестиционных целях.



Рис. 4. Распределение объема квот в Карагинской подзоне за период 2019–2025 гг.
Составлено автором

Fig. 4. Distribution of quota volumes in the Karaginsky subzone for the period 2019–2025.
Compiled by the author

Распределение квот в Карагинской подзоне характеризуется волнообразной динамикой, отражающей нестабильность объёмов выделяемых квот на протяжении исследуемого периода. В 2024–2025 гг. квоты на краба-стригуна опилио выделялись только в инвестиционных целях [22].



Рис. 5. Распределение объема квот в Северо-Охотоморской подзоне за период 2019–2025 гг.
Составлено автором

Fig. 5. Distribution of quota volumes in the North Okhotsk Sea subzone for the period 2019–2025.
Compiled by the author

Распределение квот в Северо-Охотоморской подзоне характеризуется нестабильной динамикой на протяжении исследуемого периода. В период 2024–2025 гг. наблюдается увеличение объёмов квот на вылов краба-стригуна опилио (*Chionoecetes opilio*), выделяемых в инвестиционных целях, по сравнению с предшествующими периодами. Данная тенденция свидетельствует о возрастающей роли инвестиционного механизма в регулировании промысла данного вида биоресурсов.



Рис. 6. Распределение объема квот в Западно-Камчатской подзоне за период 2019–2025 гг.
Составлено автором

Fig. 6. Distribution of quota volumes in the West Kamchatka subzone for the period 2019–2025.
Compiled by the author

В последние годы в Западно-Камчатской подзоне наблюдается негативная динамика распределения квот промышленного рыболовства. Объем квот для промышленного рыболовства сократился в 25 раз: с 88,66 т в 2023 г. до 3,532 т в 2025 г. В то же время отмечается двукратный рост инвестиционных квот: их объем увеличился с 88,66 т в 2023 г. до 173 т в 2025 г.



Рис. 7. Распределение объема квот в Восточно-Сахалинской подзоне за период 2019–2025 гг.

Составлено автором

Fig. 7. Distribution of quota volumes in the East Sakhalin subzone for the period 2019–2025. Compiled by the author

В Восточно-Сахалинской подзоне квоты выделялись только для осуществления промышленного рыболовства. Распределение квот в Восточно-Сахалинской подзоне характеризуется положительной динамикой на протяжении исследуемого периода.



Рис. 8. Распределение объема квот в подзоне Приморье за период 2019–2025 гг.

Составлено автором

Fig. 8. Distribution of quota volumes in the Primorye subzone for the period 2019–2025. Compiled by the author

В подзоне Приморье квоты выделялись только для осуществления промышленного рыболовства. Распределение квот в подзоне Приморье характеризуется волнообразной динамикой на протяжении исследуемого периода.



Рис. 9. Распределение объема квот в Западно-Сахалинской подзоне за период 2019–2025 гг.
Составлено автором

Fig. 9. Distribution of quota volumes in the West Sakhalin subzone for the period 2019–2025
Compiled by the author

Распределение квот в Западно-Сахалинской подзоне характеризуется стабильной динамикой на протяжении 2020–2023 гг. Объём квот, предусмотренных для осуществления промышленного рыболовства, в 2024 г. сократился в 43 раза относительно показателя 2023 г.: с 248,5 т до 5,74 т. В следующем отчётном периоде (2025 г.) выделение квот для промышленного рыболовства не производилось.

Заключение

Результаты комплексных научных исследований открывают важные возможности для модернизации подходов к управлению запасами крабов. Анализ накопленных данных позволяет чётко обозначить ключевые направления, в рамках которых целесообразно сосредоточить усилия для повышения эффективности отрасли.

Формирование эффективных механизмов регулирования промысла необходимо строить на основе принципов взаимовыгодного взаимодействия научных организаций, бизнес-сообщества и органов государственного управления [21]. Такой подход обеспечит баланс между экономической эффективностью промысла и экологической устойчивостью морских экосистем.

Список источников

1. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 09 ноября 2018 г. № 516 «Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2019 г.» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72048498/> (дата обращения : 01.02.2026).

2. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 29 октября 2019 г. № 610 «Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2020 г.» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72922740/> (дата обращения : 01.02.2026).

3. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 03 декабря 2020 г. № 648 «Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2021 г.» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: https://arpp.pk.ru/wp-content/uploads/2020/12/2020_12_07_Приказ-ФАРот-3.12.2020г.-648-ОДУ-2021-1.pdf (дата обращения : 01.02.2026).

4. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 19 октября 2021 г. № 711 «Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2022 г.» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: https://arpp.pk.ru/wp-content/uploads/2021/10/2021_10_21_Приказ-Минсельхоза-России-от-19.10.2022-г.-№-711-ОДУ-на-2022-морское.pdf (дата обращения : 01.02.2026).

5. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 30 сентября 2022 г. № 648 «Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2023 г.» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minselhoza-Rossii-ot-30.09.2022-N-648/> (дата обращения : 01.02.2026).

6. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 25 августа 2023 г. № 692 «Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2024 г.» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 01.02.2026).

7. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 02 октября 2024 г. № 567 «Об утверждении общего допустимого улова водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации и Каспийском море на 2025 г.» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 01.02.2026).

8. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 24 декабря 2018 г. № 761 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном

шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2019 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

9. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 13 декабря 2019 г. № 688 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2020 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

10. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 10 декабря 2020 г. № 678 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2021 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

11. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 10 декабря 2021 г. № 792 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2022 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

12. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 20 декабря 2022 г. № 753 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2023 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

13. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 21 декабря 2023 г. № 744 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства по пользователям

Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2024 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

14. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 24 декабря 2024 г. № 767 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) водных биологических ресурсов во внутренних морских водах Российской Федерации, в территориальном море Российской Федерации, на континентальном шельфе Российской Федерации, в исключительной экономической зоне Российской Федерации, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2025 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

15. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 13 декабря 2019 г. № 690 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) крабов, предоставленной в инвестиционных целях в области рыболовства, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства, по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2020 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

16. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 11 декабря 2020 г. № 681 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) крабов, предоставленной в инвестиционных целях в области рыболовства, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства, по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2021 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения: 10.02.2026).

17. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 16 декабря 2021 г. № 819 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) крабов, предоставленной в инвестиционных целях в области рыболовства, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства, по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2022 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

18. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 20 декабря 2022 г. № 752 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) крабов, предоставленной в инвестиционных целях в области рыболовства, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства, по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2023 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

19. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 18 декабря 2023 г. № 728 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) крабов, предоставленной в инвестиционных целях в области рыболовства, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства, и объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) крабов, предоставленной после 31 декабря 2021 г. в инвестиционных

целях в области рыболовства для осуществления промышленного рыболовства и (или) прибрежного рыболовства, введенной после 1 января 2022 г., по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2024 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

20. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (Федеральное агентство по рыболовству) от 19 декабря 2024 г. № 753 «О распределении объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) крабов, предоставленной в инвестиционных целях в области рыболовства, для осуществления промышленного и (или) прибрежного рыболовства, и объема части общего допустимого улова водных биологических ресурсов, утвержденного применительно к квоте добычи (вылова) крабов, предоставленной после 31 декабря 2021 г. в инвестиционных целях в области рыболовства для осуществления промышленного рыболовства и (или) прибрежного рыболовства, введенной после 1 января 2022 г., по пользователям Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна на 2025 год» с изменениями. Приказы Минсельхоза России [Электронный ресурс]. Режим доступа свободный. URL: <http://fish.gov.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

21. Сухорукова, С. В. Анализ освоения крабов в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне за 2019–2024 гг. // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : материалы IX Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 23 октября 2025 года. Владивосток : Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2025. С. 152–156. EDN YADKFJ.

22. Грибова, К. А. Анализ распределения квот добычи (вылова) крабов в Восточно-Камчатской зоне / К. А. Грибова, С. В. Лисиенко // Инновационное развитие рыбной отрасли в контексте обеспечения продовольственной безопасности Российской Федерации : материалы VIII Национальной научно-технической конференции, Владивосток, 24 октября 2024 года. Владивосток : Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, 2024. С. 137–142. EDN EDKTBZ.

Сведения об авторе

С. В. Сухорукова – старший преподаватель кафедры «Промышленное рыболовство».

Information about the author

S. V. Sukhorukova – Senior Lecturer of the Department of Industrial Fisheries.

Статья поступила в редакцию 27.03.2026; одобрена после рецензирования 13.04.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 27.03.2026; approved after reviewing 13.04.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Сухорукова С. В., 2026.

«Анализ распределение объемов квот добычи (вылова) краба-стригуна опилио по пользователям в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне за 2019–2025 гг.» [Сухорукова С. В.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ
(ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья
УДК 656.085

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-24

EDN: ZBKWWU

**О необходимости подготовки экипажей морских судов к переходу
на альтернативные виды топлива в рамках стратегии ИМО
по сокращению выбросов парниковых газов**

Виталий Витальевич Ганнесен¹, Екатерина Евгеньевна Петрова²

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
Владивосток, Россия

¹ gannesen.vv@dgtru.ru

² pillers@mail.ru

Аннотация. Международным морским сообществом отмечается важность подготовки всей судоходной отрасли к переходу на «зелёные» технологии. Политика в данной области, сформулированная в «Стратегии ИМО 2023 года по сокращению выбросов парниковых газов с судов», устанавливает общую цель – к 2050 г. достичь в международном судоходстве нулевого уровня выбросов парниковых газов. Данная стратегия предполагает внедрение технологий и источников энергии с нулевым или близким к нулевым уровням выбросов парниковых газов. План предусматривает, что к 2030 г. доля таких технологий должна составить от 5 до 10 % от общего объёма энергии, потребляемой международным судоходством. Работа моряков будущего, вероятно, станет значительно сложнее, поскольку новые виды топлива и технологии потребуют всё большего погружения в цифровую и автоматизированную рабочую среду, что, вероятно, повлияет на предстоящий пересмотр Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (МК ПДНВ). Ожидается, что морякам потребуется пройти соответствующую подготовку по мере внедрения судоходными компаниями альтернативных топливных технологий. Целью данной работы было изучение проблем, связанных с готовностью экипажей судов к внедрению «зелёных» технологий в морское судоходство. В статье рассматриваются проблемы, сопровождающие переход на альтернативные виды топлива, которые позволяют снизить уровень выбросов парниковых газов. Отмечается, что перевод судов на альтернативные виды топлива требует не только новых технических решений, но и специальной подготовки экипажей судов. Кроме того, указывается, что отсутствие нормативной базы, устанавливающей требования к компетентности морских специалистов в области эксплуатации судов, работающих на альтернативных видах топлива, препятствует активному внедрению соответствующих программ подготовки морских специалистов.

Ключевые слова: декарбонизация, альтернативные виды топлива, экологичный транспорт, тренажёрная подготовка экипажей

Для цитирования: Ганнесен В. В., Петрова Е. Е. О необходимости подготовки экипажей морских судов к переходу на альтернативные виды топлива в рамках стратегии ИМО по сокращению выбросов парниковых газов // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 230–237.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2.
P. 230–237.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Original article

On the necessity to train ship crews to switch to alternative fuels as part of the IMO strategy to reduce greenhouse gas emissions

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

Abstract. The international maritime community has recognized the importance of preparing shipping industry for switching to green technologies. The relevant policy set out in the IMO 2023 Strategy to Reduce Greenhouse Gas Emissions from Ships sets the overall goal of achieving zero greenhouse gas emissions from international shipping by 2050. This strategy is to implement zero- or near-zero-emission technologies and energy sources. It is supposed that by 2030 the share of such technologies should amount to between 5% and 10% of the total energy consumed by international shipping. The work of future seafarers is likely to become significantly more difficult, as new fuels and technologies will require increased immersion in digital and automated work environments which will likely impact the upcoming revision of the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW). Seafarers will have to be appropriately trained when shipping companies implement alternative fuel technologies. The purpose of this research was to review the issues related to readiness of ship crews to implement "green" technologies in maritime shipping. The article observes the challenges caused by switching to alternative fuels that can reduce global greenhouse gas emissions. It is noted that switching ships to alternative fuels requires not only new technical solutions but also crew special training. Furthermore, the lack of regulations establishing requirements to competency of maritime specialists operating the ships powered by alternative fuels prevents from active implementation of relevant training programs for maritime specialists.

Keywords: decarbonization, alternative fuels, eco-friendly transport, simulator training of crews

For citation: Gannesen V. V., Petrova E. E. On the necessity to train ship crews to switch to alternative fuels as part of the IMO strategy to reduce greenhouse gas emissions. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):230–237. (In Russ.).

Введение

В связи с переходом морской отрасли на сокращение выбросов парниковых газов [1] возникает острая необходимость в подготовке моряков к работе с топливом с нулевым и близким к нулевым уровням выбросов. Судоводная отрасль осознала необходимость приобретения моряками новых компетенций для соответствия целям декарбонизации. Международный Кодекс по безопасности судов, использующих газы или другие виды топлива с низкой температурой воспламенения (IGF) [2], определяет требования к подготовке и компетентности членов экипажа, ссылаясь на Международную конвенцию о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты (МК ПДНВ) [3]. Кроме того, подготовка к соблюдению Кодекса IGF включает в себя как базовые, так и углубленные модельные курсы в аккредитованном учебном центре, а также требует минимальный опыт работы на соответствующем судне с прохождением ознакомительного курса. В зависимости от своих должностей на судне персонал должен соответ-

ствовать стандартам базовой или углублённой подготовки. Расширенная подготовка предназначена для капитанов, механиков и персонала, непосредственно отвечающего за обращение с топливом и топливными системами и их использование, в то время как базовая подготовка предназначена для моряков, отвечающих за выполнение определенных обязанностей по обеспечению безопасности, связанных с обращением с топливом на борту, его использованием или реагированием на чрезвычайные ситуации.

Материалы и методы

По данным европейского агентства по безопасности EMSA [4], декарбонизация судоходства предполагает технологический переход на различные потенциально альтернативные виды топлива и энергетические системы. При этом одной из основных проблем этого перехода является необходимость дополнительного обучения моряков на судах, использующих альтернативные виды топлива и системы, для обеспечения их безопасной и эффективной эксплуатации и обслуживания.

Существующие стандарты подготовки и компетентности, изложенные в Кодексе ПДНВ, не охватывают конкретно все аспекты новых видов топлива/топливных систем, которые принимаются, к ним относятся:

1. Сжиженный природный газ.
2. Биотопливо.
3. Метилловые/этиловые спирты (ограничено метанолом).
4. Гибридные электрические аккумуляторные системы.
5. Аммиак.
6. Водород.

Такие виды топлива с нулевым или близким к нулевому уровню выбросов парниковых газов, как аммиак, метанол и водород, представляют особую опасность для здоровья и безопасности экипажа, требуя специальных знаний и мер безопасности для их адекватного и эффективного применения [5]. Однако действующие Стандарты Конвенции ПДНВ пока не содержат рекомендаций или уровней компетентности при работе с этими «зелёными» молекулами.

При обсуждении вопроса об аммиаке было подчеркнуто, что его токсичность является серьезной проблемой, и была высказана необходимость всестороннего обучения процедурам реагирования на чрезвычайные ситуации, а также новых стандартов средств индивидуальной защиты СИЗ и мер безопасности на технологическом процессе. Хотя существующие рамки подготовки моряков, изложенные в конвенции ПДНВ Международной морской организации (ИМО), обеспечивают основу, они не способны решить специфические проблемы, связанные с аммиаком.

Аналогично, в отношении метанола основными проблемами были высокая воспламеняемость этого топлива, требующая новых методов обнаружения пожаров и обновленных протоколов использования средств СИЗ. На следующем этапе перехода также потребуется подробное обучение токсичным свойствам и коррозионной активности метанола.

Водород имеет перспективный путь в качестве судового топлива, но сопряжен с рисками для безопасности. Суда, работающие на водородном топливе, требуют конструктивных мер безопасности, и рекомендуется установка дополнительных защитных кожухов для всех компонентов, содержащих водород, даже на открытых палубах. Опасность водорода отличается от опасности других видов морского топлива, таких как СПГ, поскольку даже небольшие утечки могут образовывать воспламеняющиеся газовые облака, а лёгкая воспламеняемость водорода и сложности с его обнаружением требуют дополнительных технических барьеров для предотвращения взрывов. Из-за лёгкой воспламеняемости и низких температур хранения в сжиженном состоянии водород также создает новые профессиональные риски для моря-

ков. Кроме того, в отношении водорода особое внимание должно быть уделено таким вопросам, как обнаружение пламени и усовершенствованные системы пожарной безопасности, которые имеют жизненно важное значение для экипажа.

По сравнению с обычными видами топлива риски безопасности, возникающие из-за свойств альтернативных видов топлива, усложняют операции по бункеровке, хранению топлива на борту, его распределению, преобразованию энергии и техническому обслуживанию. Безопасная интеграция технологий использования аммиака или водорода на борту судна повлияет на компоновку судна, что потребует разработки новых проектных решений. Аммиак и водород обладают более низкой объёмной плотностью энергии, чем жидкое топливо, и требуют использования отдельных резервуаров для хранения, которые сложно интегрировать и которые накладывают ограничения на количество топлива, хранимого на борту.

Применение упомянутых видов топлива подразумевает не только установку новых типов энергетических установок, но и разработку и внедрение принципиально отличающихся от используемых в настоящее время иных судовых систем и устройств, связанных, в первую очередь, с пожаробезопасностью и защитой экипажа. Поскольку новые технические решения требуют компетенций, которыми не обладают специалисты, работающие на судах с традиционными энергетическими установками, то при переходе на новые виды топлива возникнет необходимость переобучения морских специалистов всех уровней.

Для безопасной эксплуатации судна, работающего на водороде, метаноле или аммиаке, экипаж должен досконально понимать опасности, связанные с обращением с этими видами топлива. Он также должен знать функции безопасности, заложенные в конструкцию судна, их назначение, эксплуатацию и требования к техническому обслуживанию. Поэтому для обеспечения безопасной эксплуатации судна крайне важно внедрить комплексную программу обучения, эксплуатационные процедуры и развитую культуру безопасности. Это потребует изменений в системе управления безопасностью, создаст потребность в новых компетенциях на борту и на берегу, а также может повлиять на организационную структуру.

Обсуждение

Для подготовки морских специалистов к эксплуатации новых конструкций судов должны быть сформулированы компетенции, которыми моряки должны обладать. А для того, чтобы сформулировать такие компетенции, необходимо ясно представлять технические особенности новых судов. Если говорить об энергетических установках для работы на рассматриваемых видах топлива, то в настоящее время требования к техническим характеристикам сформулированы лишь для судов, работающих на природном газе (Международный кодекс безопасности для судов, использующих газы или другие виды топлива с низкой температурой вспышки – IGF CODE). При отсутствии сформулированных критериев, обеспечивающих безопасную эксплуатацию, массовое производство судов с энергетическими установками, работающими на новых видах топлива, невозможно. Следует отметить, что вводимые в эксплуатацию суда с энергетическими установками, работающими на природном газе, – это промежуточное звено в стратегии отказа от использования тяжелого топлива, поскольку сжигание природного газа сопровождается выбросом углекислого газа. Если международное морское сообщество будет настойчиво реализовывать стратегию по сокращению выбросов парниковых газов с судов с конечной целью достичь нулевого уровня выбросов парниковых газов, то очевидно, что в ближайшее время стоит ожидать и принятия критериев к техническим характеристикам судов, работающих на новых видах топлива, и к компетенциям экипажей таких судов.

Моряки должны быть обучены распознавать специфические опасности, связанные с использованием аммиака, метанола или водорода в качестве судового топлива, и способам их минимизации. Это должно подкрепляться четкими процедурами эксплуатации и системами управления безопасностью, а человеческий фактор и культура безопасности организации должны обеспечивать дополнительный уровень контроля рисков.

На своей 12-й сессии 23–27 февраля 2026 г. ИМО сосредоточилась на завершении разработки проекта временных руководящих принципов для моряков, использующих альтернативные виды топлива, разработке плана работы по будущим стандартам обучения и внесении поправок в Конвенцию и Кодекс ПДНВ.

Проект временных руководящих принципов по обучению моряков, использующих метиловый/этиловый спирт в качестве топлива, был доработан и будет рассмотрен на заседании MSC 111 в мае 2026 г. для утверждения. Руководящие принципы в целом основаны на стандартах обучения для судов, использующих СПГ в качестве топлива, с использованием документа STCW.7/Circular.25 – Общие временные руководящие принципы по обучению моряков на судах, использующих альтернативные виды топлива и новые технологии, в качестве базового документа [6]. Предполагается, что эти руководящие принципы обеспечат стандарты обучения моряков на судах, соответствующих требованиям MSC.1/Circ.1621 – Временные руководящие принципы по безопасности судов, использующих метиловый/этиловый спирт в качестве топлива [7].

Проект временных руководящих принципов по обучению моряков, использующих аммиак в качестве топлива, также был доработан и будет направлен в MSC 111 для утверждения. Как и в случае с временными руководящими принципами по обучению моряков, использующих метиловый/этиловый спирт в качестве топлива, эти руководящие принципы в целом основаны на стандартах обучения моряков на судах, использующих СПГ в качестве топлива, с использованием STCW.7/Circular.25 в качестве базового документа. Предполагается, что эти руководящие принципы устанавливают стандарты обучения моряков на судах, которые соответствуют MSC.1/Circ.1687 – Временным руководящим принципам по безопасности судов, использующих аммиак в качестве топлива [8].

Был согласован план работы до 2029 г. по разработке требований к обучению моряков, использующих следующие виды топлива/технологии, в указанном порядке приоритета:

1. Водородный топливный элемент.
2. Сжиженный газ.
3. Водород.
4. Питание от батареи.
5. Ветроэнергетические системы и ветроэнергетические установки.

В упомянутом выше плане работы также рассматриваются поправки, которые потребуются в рамках всестороннего пересмотра Конвенции и Кодекса ПДНВ. Требования Конвенции и Кодекса ПДНВ исходят из предположения (которое было верным на тот момент), что большинство судов используют дизельное топливо в качестве основного источника энергии. По мере того, как другие виды топлива и технологии становятся все более доступными и используемыми, это предположение становится менее обоснованным, и, вероятно, потребуются соответствующие поправки к тексту Конвенции и Кодекса.

План состоит в том, что поправки к общим компетенциям и знаниям, пониманию и навыкам для глав II (палубная команда), III (машинная команда) и V (специальные требования к подготовке персонала на определенных типах судов) будут окончательно утверждены в 2028 г. с целью их последующего рассмотрения в рамках работы по всестороннему пересмотру Конвенции и Кодекса STCW.

Разработчикам учебных программ рекомендуется создавать программы переходных курсов для моряков и берегового персонала, а также обновить учебные помещения, включив в них практическое обучение работе с альтернативными видами топлива.

Поскольку моряки работают в сложных условиях, на которые влияют нормы, правила и экономика, передовые технические навыки имеют важное значение. По мере развития морской отрасли и изменения правил непрерывное образование и обучение становятся все более важными для моряков. Всесторонняя подготовка имеет решающее значение для решения сложных задач отрасли. Поэтому в Международную конвенцию о подготовке и дипломирова-

нии моряков и несении вахты (МК ПДНВ) был внесен ряд поправок, продвигающих современные методы обучения, такие как дистанционное обучение и веб-образование, обучение на тренажерах с погружением и без погружения, которые повышают готовность моряков к энергоэффективной эксплуатации судов. Используя современные технологии моделирования, такие как иммерсивные и не иммерсивные симуляторы, можно изучать сложные задачи в виртуальной среде, что делает обучение более эффективным.

Так, Samsung Heavy Industries объединилась с Evergreen для внедрения передовой технологии виртуальной реальности (VR) в Центре подготовки моряков Evergreen [9]. Эта инициатива направлена на лучшую подготовку моряков к эксплуатации новых метаноловых двухтопливных контейнеровозов Evergreen вместимостью 16 500 TEU путем предоставления иммерсивных симуляций реальных ситуаций, таких как осмотр машинного отделения, загрузка топлива и реагирование на чрезвычайные ситуации, такие как пожары или утечки. Эти VR-решения, разработанные с использованием трёхмерных данных SHI о конструкции судна, воспроизводят сложные судовые системы, позволяя обучающимся приобретать практический опыт без необходимости физического присутствия на борту. Это снижает логистические сложности и затраты на обучение, одновременно повышая эксплуатационную безопасность и эффективность. Платформа позволяет проводить повторяющиеся упражнения на основе сценариев, помогая экипажам освоить как управление оборудованием, так и управление кризисными ситуациями.

Программа, созданная DanPilot и Danelec, позволяет управлять судами с суши, используя только данные, передаваемые непосредственно с судов [10]. Целью испытаний является повышение безопасности и снижение расхода топлива на судах без ущерба для безопасности мореплавания. Дистанционное управление судами помогает снизить выбросы CO₂ и эксплуатационные расходы.

Компания Bernhard Schulte Shipmanagement совместно с компанией Wärtsilä запустила свой первый тренажер по бункеровке судов метанолом в своем Морском учебном центре в Кочи, Индия [11]. Согласно заявлению, учебная платформа вооружает моряков знаниями и практическими навыками безопасного обращения с метанолом в качестве топлива, а в начале 2026 г. будет запущен модуль моделирования бункеровки аммиаком. К концу 2025 г. в морских учебных центрах BSM в Польше и на Филиппинах планируется ввести в эксплуатацию два дополнительных симулятора бункеровки метанола.

В России обучение членов экипажей работе с альтернативными видами топлива (прежде всего сжиженным природным газом – СПГ) проводится на базе современных тренажерных комплексов, соответствующих международному Кодексу МГТ (IGF Code).

Российские тренажерные центры активно внедряют симуляторы машинного отделения для обучения работе с альтернативными видами топлива. УТЦ «ПРИСКО» использует навигационные симуляторы новейшей серии Transas NT Pro-5000 и тренажеры машинного отделения [12]. УТЦ «Совкомфлот» использует навигационные и инженерные тренажеры для подготовки персонала своих «зеленых» танкеров (серии «Перспект»), работающих на СПГ [13]. ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова – лидер в области внедрения программ по работе с альтернативным топливом – первым в РФ запустил дистанционные курсы с использованием облачных тренажерных технологий, соответствующие требованиям по использованию газа или иного топлива [14]. Тренажеры обеспечивают отработку практических навыков эксплуатации топливных систем в соответствии с положениями Международной конвенции ПДНВ, обеспечивая безопасность использования новых видов топлива. МГУ им. адм. Г. И. Невельского (г. Владивосток) располагает современными симуляторами для подготовки кадров для работы на судах с газовыми энергетическими установками [15].

Обучение на тренажерах охватывает следующие аспекты: отработка безопасного приема газового топлива с берега или судна-бункеровщика; контроль систем хранения и удержания топлива на борту; тренировки по ликвидации утечек газа, тушению пожаров на судах с аль-

тернативным топливом и предотвращению взрывов; оптимизация работы двигателей для снижения вредных выбросов в атмосферу.

Заключение

Будущее морской отрасли лежит на стыке передовых технологий и профессиональных навыков. В условиях, когда цифровизация и декарбонизация выходят на первый план, крайне важно предоставить морякам инструменты и обучение, необходимые для успешного развития в этой быстро меняющейся среде [16, 17]. В условиях перехода отрасли на альтернативные виды топлива невозможно переоценить важность хорошо подготовленного, профессионального и мотивированного экипажа. Комплексная программа обучения, сочетающая теоретические занятия, практические упражнения и опыт работы, имеет решающее значение для подготовки моряков к безопасной эксплуатации судов, использующих альтернативные виды топлива. Объединяя теоретическое обучение в классе, тренировки на симуляторах, учения на борту судна и отраслевые семинары, морская отрасль может гарантировать, что моряки будут хорошо подготовлены к решению задач, связанных с альтернативными видами топлива.

Список источников

1. 2023 IMO Strategy On Reduction of GHG Emissions from Ships [Электронный ресурс]. URL: <https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Document/s/annex/MEPC%2080/Annex%2015.pdf> (дата обращения : 16.02.2026).
2. Международный Кодекс по безопасности судов, использующих газы или другие виды топлива с низкой температурой воспламенения (IGF) Ships [Электронный ресурс]. URL: <https://www.imo.org/ru/ourwork/safety/pages/igf-code.aspx> (дата обращения : 16.02.2026).
3. Конвенция ПДНВ [Электронный ресурс]. URL: <https://dalrybvtuz.ru/uni/normativnye-dokumenty/dokumenty-o-morskoy/convention/> (дата обращения : 02.03.2026).
4. Европейское агентство по безопасности на море (EMSA) [Электронный ресурс]. URL: <https://www.emsa.europa.eu/> (дата обращения : 02.03.2026).
5. 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.
6. MSC.1/Circ.1621 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.register-iri.com/wp-content/uploads/MSC.1-Circ.1621.pdf> (дата обращения : 26.02.2026).
7. STCW.7/Circular.25 [Электронный ресурс]. URL: <https://futurefuels.imo.org/wp-content/uploads/2025/10/STCW.7-Circ.25-Generic-Interim-Guidelines-On-Training-For-Seafarers-On-Ships-Using-Alternative-Fuels-And.-Secretariat.pdf> (дата обращения : 26.02.2026).
8. MSC.1/Circ.1687 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bimco.org/media/bxvcygg1/msc1-circ1687-interim-guidelines-for-the-safety-of-ships-using-ammonia-as-fuel-secretariat.pdf> (дата обращения : 10.03.2026).
9. Компания Samsung Heavy Industries [Электронный ресурс]. URL: <https://samsungshi.com/En/> (дата обращения : 19.01.2026).
10. Компания Danelec [Электронный ресурс]. URL: <https://www.danelec.com/newsroom/danelec-and-danpilot-to-unveil-groundbreaking-remote-piloting-technology-at-european-maritime-day-2024> (дата обращения : 19.01.2026).
11. Компания Bernhard Schulte Shipmanagement [Электронный ресурс]. URL: (дата обращения : 19.01.2026).
12. УТИЦ «ПРИСКО» [Электронный ресурс]. URL: <http://www.priscotraining.com/> (дата обращения : 10.03.2026).
13. ПАО «Совкомфлот» [Электронный ресурс]. URL: <https://scf-training.scf-group.ru/> (дата обращения : 10.02.2026).

14. МГУ им. адм. Г. И. Невельского [Электронный ресурс]. URL: <https://www.msun.ru/> (дата обращения: 16.03.2026).

15. ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова [Электронный ресурс].

URL: <https://gumrf.ru/> (дата обращения : 10.03.2026).

16. Тормашев, Д. С. Современные вызовы морской индустрии в области декарбонизации судов и пути оптимизации процессов энергосбережения в СЭУ / Д. С. Тормашев, А. И. Епихин // Эксплуатация морского транспорта. 2021. № 3(100). С. 110–113. DOI 10.34046/aumsuomt100/16. EDN UOMHWE.

17. 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 WCZHUN.

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 23.03.2026; одобрена после рецензирования 21.04.2026; принята к публикации 11.05.2026.

The article was submitted 23.03.2026; approved after reviewing 21.04.2026; accepted for publication 11.05.2026.

© Ганнесен В. В., Петрова Е. Е., 2026.

«О необходимости подготовки экипажей морских судов к переходу на альтернативные виды топлива в рамках стратегии ИМО по сокращению выбросов парниковых газов» [Ганнесен В. В., Петрова Е. Е.] распространяется под лицензией Creative Commons Attribution (CC BY 4.0).

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ИХ ЭЛЕМЕНТЫ (ГЛАВНЫЕ И ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ)

Научная статья

УДК 639.2.081.117.21

DOI: doi.org/10.48612/dalrybvtuz/2026-76-25

EDN: ZFXRCC

Динамика системы «судно–глубоководный трал» при донном зацеплении трала

Станислав Владимирович Терлыч

Херсонская государственная морская академия, Херсон, Россия

rn6ay@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6044-3087

Аннотация. Рассмотрена динамическая система «судно–траулер» вместе с глубоководным тралом в условиях зацепления трала (траловой доски) за дно. Сформулирована задача решения с использованием преобразований Лапласа во времени. Получены аналитические зависимости для определения сил в ваере и исследования динамики судна.

Ключевые слова: судно–траулер, ваер, динамика гибких связей

Для цитирования: Терлыч С. В. Динамика системы «судно–глубоководный трал» при донном зацеплении трала // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 76, № 2. С. 238–242.

Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University. 2026. Vol. 76, no. 2. P. 238–242.

MARINE POWER PLANTS AND THEIR ELEMENTS (MAIN AND AUXILIARY)

Original article

The dynamics of the "vessel-deep-sea trawl" system during trawl bottom engagement

Stanislav V. Terlych

Kherson State Maritime Academy, Kherson, Russia

rn6ay@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6044-3087

Abstract. The dynamic system "trawler vessel" together with a deep-sea trawl in conditions of the trawl (trawl board) engagement with the bottom is considered. The problem of solution using Laplace transformations in time is formulated. Analytical dependences are obtained for determining the forces in the vaer and studying the dynamics of the vessel.

Keywords: trawler vessel, warp, dynamics of flexible connections

For citation: Terlych S. V. The dynamics of the "vessel-deep-sea trawl" system during trawl bottom engagement. *Scientific Journal of the Far Eastern State Technical Fisheries University*. 2026; 76(2):238–242. (In Russ.).

Введение и постановка задач

В связи с уменьшением рыбных ресурсов морей и океанов на малых глубинах (500–1000 м) [1] и введением двухсотмильных зон запрета лова [2], большинство прибрежных государств всё большее внимание уделяют проблеме глубоководного тралового промысла, а также исследованиям в родственных сферах.

Предупреждение аварийных ситуаций при этом (зацепление трала за дно) имеет важное значение как с точки зрения безопасности судоходства, так и с точки зрения сохранения самого трала.

Анализ литературы по теме исследования

Динамические нагрузки в системе «судно↔ваер↔трал» при выборе трала подробно описаны в [3]. В [4] сформулирована проблема математического моделирования системы «судно↔глубоководный трал».

Широкий анализ проблемы включает моделирование как технологических процессов работы с тралом, так и аварийных ситуаций. В статьях [5, 6] предложена математическая модель аварийного зацепления траловой доски за донную преграду. При этом ваер описан как волновод с импульсным напряжением с одного судна, а длина возмущающей волны не даёт возможности прогнозировать поведение ваера при других (широко распространённых в рыболовстве) режимах работы трала.

Цель статьи – рассмотреть случай, при котором длина возмущённой волны превышает длину трала.

Принятые допущения. Судно-траулер при буксировке глубоководного донного трала движется с расчётной скоростью v_0 . Глубина траления h , длина вытраленной части ваера L . В результате зацепления трала за донную преграду нижнего конца ваера в момент времени $t = 0$ считается закреплённым. Судно, двигаясь по инерции, растягивает ваер, а после этого осуществляются затухающие продольные колебания. В общем случае на судно может действовать сопротивление винта P_0 .

Изложение основного материала

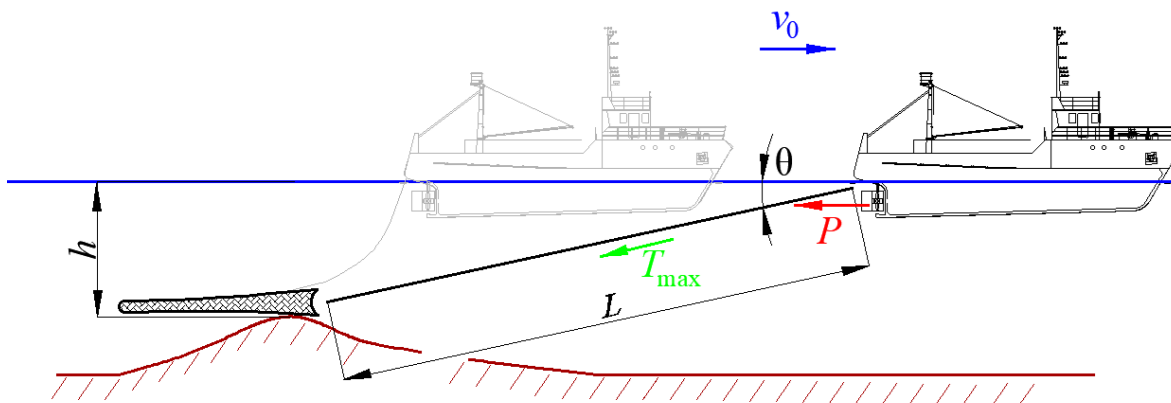
В статье ваер представлен прямолинейным отрезком растянутой упругой нити длиной L . Линия ваера создаёт угол θ_0 с плоскостью дна (или поверхности воды), рисунок. Тогда

$$\cos \theta_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{h}{L}\right)^2}. \quad (1)$$

В рамках принятых допущений определена максимальная сила растяжения ваера. При этом предположено, что вся кинетическая энергия судна переходит в потенциальную энергию растянутого судном упругого ваера. Накопленная судном энергия представлена выражением

$$K_0 = \frac{1}{2}(\Delta + \mu)v^2, \quad (2)$$

где Δ – массовое водоизмещение судна; μ – присоединённые массы забортной воды при движении судна.



Расчётная схема натяжения ваера при зацеплении за препятствие. Составлено автором
Calculation of the warp tension when it catches on an obstacle. Compiled by the author

Потенциальная энергия растянутого ваера представлена зависимостью

$$\Pi_0 = \frac{1}{2} T_0 U_0, \quad (3)$$

где T_0 – максимальное усилие на растяжение ваера; U_0 – величина деформации ваера.

Кроме зависимостей (1) и (2) учтено, что

$$T_0 = (ES)_b \frac{U_0}{L}, \quad (4)$$

где E – модуль упругости первого рода материала ваера; S – площадь поперечного сечения ваера.

Подставив (4) в (3), получено

$$\Pi_0 = \frac{1}{2} b U_0^2, \quad (5)$$

здесь $b = L^{-1}(ES)_b$.

Приравняв правые части (2) и (5), получено

$$U_0 = v_0 \sqrt{\frac{\Delta + \mu}{b}}; \quad (6)$$

$$T_0 = b U_0 = v_0 \sqrt{(\Delta + \mu)b}. \quad (7)$$

Если учесть, что накопленная судном энергия переходит в упругие колебания системы судно↔ваер, поточная величина кинетической энергии судна составит

$$K(t) = \frac{1}{2} (\Delta + \mu) v^2(t), \quad (8)$$

где $v(t) = \dot{x}(t)$ – поточное значение скорости судна.

Поточное значение потенциальной энергии ваера:

$$\Pi(t) = \frac{1}{2} b U^2(t), \quad (9)$$

где $U(t)$ – поточное значение величины деформации ваера.

Здесь

$$U(t) = x(t) \cos \theta_0, \quad (10)$$

где $x(t)$ – поточная координата положения судна, $x(0) = 0$. Тогда

$$\Pi(t)' = \frac{1}{2} (b \cos^2 \theta) \dot{x}^2(t). \quad (11)$$

Введя к рассмотрению диссипативную функцию Релея [7]:

$$R = \frac{1}{2} \alpha \dot{x}^2, \quad (12)$$

уравнение Лагранжа для рассматриваемого случая будет иметь вид

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial k}{\partial \dot{x}} = - \frac{\partial \Pi}{\partial x} - \frac{\partial R}{\partial \dot{x}}. \quad (13)$$

Подставив в уравнение (13) выражения (8), (10) и (12), получено уравнение свободных колебаний судна:

$$(\Delta + \mu) \ddot{x} + \alpha \dot{x} + (b \cos^2 \theta) x = 0. \quad (14)$$

Уравнение (14) можно записать в каноническом виде:

$$\ddot{x} + 2n \dot{x} + \omega_0^2 x = 0, \quad (15)$$

где

$$2n = \frac{\alpha}{\Delta + \mu}; \quad (16)$$

$$\omega_0^2 = \frac{b \cos^2 \theta}{\Delta + \mu}. \quad (17)$$

В случае действия на судно сопротивления гребного винта $P(t)$, вместо уравнений (15)–(17) имеет место уравнение вынужденных колебаний

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega_0^2 x = F(t), \quad (18)$$

где $F(t) = \frac{P(t)}{\Delta + \mu}$.

Ограничившись рассмотрением малого промежутка времени t , можно предположить, что сопротивление гребного винта неизменно, т.е.

$$P(t) = P_0 l_\tau(t), \quad (19)$$

где $l_\tau(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < 0; \\ 1, & \text{при } t \geq 0. \end{cases}$

В результате получено следующее формулирование задачи:

$$\ddot{x} + 2n\dot{x} + \omega_0^2 x = F_0; \quad x(0) = 0; \quad \dot{x}(0) = v_0, \quad (20)$$

где $F_0 = \frac{P_0}{\Delta + \mu}$.

Задачу (20) рационально решить операционным методом (преобразования Лапласа по времени t):

$$\begin{aligned} x(t) &= \frac{F_0}{n^2 + \omega^2} \left[1 - e^{-nt} \left(\cos \omega t + \frac{n}{\omega} \sin \omega t \right) \right] + \frac{v_0}{\omega} \sin \omega t; \\ \dot{x}(t) &= e^{-nt} \left[v_0 \cos \omega t - \left(v_0 - \frac{F_0}{n} \right) \frac{n}{\omega} \sin \omega t \right], \end{aligned} \quad (21)$$

где $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - n^2}$.

Решению задачи удовлетворяют начальные условия $x(0) = 0$; $\dot{x}(0) = v_0$. Далее найдено точное поточное значение для динамической среды в ваере:

$$\begin{aligned} T(t) &= \frac{(ES)_b}{L} U(t) = \frac{(ES)_b \cos \theta_0}{L} x(t), \\ T(t) &= \frac{(ES)_b \cos \theta_0 F_0}{L \omega_0} \left\{ 1 + e^{-nt} \left[\frac{\left(\frac{v_0 \omega_0}{F_0} - n \right)}{\sqrt{\omega_0^2 - n^2}} \times \sin \omega t - \cos \omega t \right] \right\}. \end{aligned} \quad (22)$$

Максимальное значение силы

$$T_{\max} \cong \frac{(ES)_b F_0 \cos \theta_0}{L \omega_0} \left\{ 1 + \frac{\frac{v_0 \omega_0}{F_0} - n}{\sqrt{\omega_0^2 - n^2}} \right\}. \quad (23)$$

Для случая отсутствия сопротивления гребного винта при движении судна по инерции $F_0 = 0$. Тогда из (23) следует

$$T_{\max} \cong \frac{(ES)_b F_0 \cos \theta_0}{L \sqrt{\omega_0^2 - n^2}}. \quad (24)$$

Для случая $F_0 = 0$ и $n = 0$ получено

$$T_{\max} \cong \frac{(ES)_b F_0 \cos \theta_0}{L \omega_0} \left\{ 1 + \frac{\frac{v_0 \omega_0}{F_0} - n}{\sqrt{\omega_0^2 - n^2}} \right\} = \frac{(ES)_b v_0}{D} \sqrt{\frac{\Delta + \mu}{b}} = v_0 \sqrt{((\Delta + \mu)b)}, \quad (25)$$

что совпадает с (7).

Формулой (21) описывается динамика судна, а зависимостями (22)–(25) – динамическая сила в ваере.

Полная сила в ваере состоит из статического натяжения $T_{\text{СТ}}$ до зацепления и динамического, которое возникает после.

Заключение

Сформулирована математическая постановка задачи «мягкого зацепления» глубоководного трала за дно. Получено аналитическое решение задачи динамики системы ваер↔судно↔ваер. Выведена математическая зависимость для определения максимального динамического усилия натяжения ваера.

Список источников

1. Сухорукова С. В. Распределение объемов квот добычи (вылова) сельди тихоокеанской по пользователям в Северо-Охотоморской подзоне Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна // Научные труды Дальрыбвтуза. 2025. Т. 73, № 3. С. 128–137.
2. О рыболовстве и сохранении водных ресурсов : Федеральный закон от 20 декабря 2004 г. № 166-ФЗ : Доступ из справочно-правовой системы «КонсультантПлюс».
3. Красаускас Д. А., Еремеев Г. А., Недоступ А. А., Коновалова К. В., Насенков П. В. Исследование гидродинамики и формы тралового мешка / Д. А. Кара // Научные труды Дальрыбвтуза. 2026. Т. 75, № 1. С. 176–185.
4. Ражев, А. О. Инженерный расчёт разноглубинного рыболовного трала / А. О. Ражев, А. А. Недоступ // Вестн. Томского гос. ун-та. Математика и механика. 2023. № 81. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/inzhenernyy-raschet-raznoglubinnogo-rybolovnogo-trala> (дата обращения : 20.04.2026).
5. Рязанова Т. В. Методы модернизации рыболовного трала в условиях дефицита тяги судна в течение промыслового рейса // Вестник АГТУ. Серия : Морская техника и технология. 2021. № 3. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-modernizatsii-rybolovnogo-trala-v-usloviyah-defitsita-tyagi-sudna-v-techenie-promyslovogo-reysa> (дата обращения : 08.04.2026).
6. Недоступ А. А. Метод расчета силовых и геометрических характеристик донных тралов // Известия ТИНРО. 2011. Т. 164. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metod-rascheta-silovyh-i-geometricheskih-harakteristik-donnyh-tralov> (дата обращения : 02.04.2026).
7. Елчанинов, Е. В. Графический способ определения собственных частот главных форм колебаний по методу Релея / Е. В. Елчанинов, С. Н. Сикарев // Научные проблемы водного транспорта. 2006. № 16. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/graficheskiy-sposob-opredeleniya-sobstvennyh-chastot-glavnyh-form-kolebaniy-po-metodu-releya> (дата обращения : 24.04.2026).

Сведения об авторе

С. В. Терлыч – кандидат технических наук, декан факультета судовождения и судовой энергетики, SPIN-код: 3390-8260.

Information about the author

S. V. Terlych – PhD in Technical Sciences, Dean of the Faculty of Navigation and Ship Power Engineering, SPIN-code: 3390-8260.

Статья поступила в редакцию 28.04.2026; одобрена после рецензирования 12.05.2026; принята к публикации 26.05.2026.

The article was submitted 28.04.2026; approved after reviewing 12.05.2026; accepted for publication 26.05.2026.

© Терлыч С. В., 2026.

«Динамика системы «судно–глубоководный трал» при донном зацеплении трала» [Терлыч С. 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 A4; 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: Original 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 приводятся 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 Иванов¹, Иван Иванович Петров²

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. Ivanov¹, Ivan I. Petrov²

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

№ 2 2026

Том 76

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 22.06.2026.
Формат 60х84/8.

Оригинал-макет подготовлен
Центром публикационной деятельности
«Издательство Дальрыбвтуза»
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б