

ISSN 1560-9278  
eISSN 1997-4736

# Вестник МГТУ

ТРУДЫ МУРМАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ТОМ 26, № 3 (июль – сентябрь), 2023 г.

ТЕХНОЛОГИЯ  
ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ  
ПРОДУКТОВ



FOOD TECHNOLOGY

# Vestnik of MSTU

SCIENTIFIC JOURNAL OF MURMANSK STATE  
TECHNICAL UNIVERSITY  
VOLUME 26, N 3 (July – September), 2023

16+

ISSN 1560-9278  
eISSN 1997-4736

# **Вестник МГТУ**

**ТРУДЫ МУРМАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
ТОМ 26, № 3 (июль – сентябрь), 2023 г.**



# **Vestnik of MSTU**

**SCIENTIFIC JOURNAL OF MURMANSK STATE  
TECHNICAL UNIVERSITY  
VOLUME 26, N 3 (July – September), 2023**

**Мурманск  
2023**

**ВЕСТНИК МГТУ**  
**Том 26, № 3 (июль – сентябрь), 2023 г.**  
Научный журнал  
Издается с января 1998 г.  
Выходит один раз в три месяца

**Учредитель**  
ФГАОУ ВО «Мурманский государственный  
технический университет»

**Главный редактор**  
Власов А. Б., д-р техн. наук, профессор  
(Мурманск, Россия)

**Редакционная коллегия  
по направлению «Технология  
продовольственных продуктов»**

*Заместитель главного редактора:*  
Шокина Ю. В., д-р техн. наук,  
доцент (Мурманск, Россия)

*Члены редакционной коллегии:*  
Алексеев Г. В., д-р техн. наук, профессор  
(Санкт-Петербург, Россия)  
Бредихин С. А., д-р техн. наук, доцент  
(Москва, Россия)  
Гроховский В. А., д-р техн. наук, профессор  
(Мурманск, Россия)  
Деркач С. Р., д-р хим. наук, профессор  
(Мурманск, Россия)  
Донская Г. А., д-р биол. наук, доцент  
(Москва, Россия)  
Красуля О. Н., д-р техн. наук, профессор  
(Москва, Россия)  
Лебская Т. К., д-р техн. наук, профессор  
(Киев, Украина)  
Мезенова О. Я., д-р техн. наук, профессор  
(Калининград, Россия)  
Мингалева З. Ш., д-р техн. наук, доцент  
(Казань, Россия)  
Остроухова Е. В., д-р техн. наук, доцент  
(Ялта, Россия)  
Пеленко В. В., д-р техн. наук, профессор  
(Санкт-Петербург, Россия)  
Савенкова Т. В., д-р техн. наук, профессор  
(Москва, Россия)  
Толсторебров И. Н., д-р наук  
(Тронхейм, Норвегия)

**Адрес редакции**  
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13.  
Тел./факс: (8152) 40-33-56.  
Тел.: (8152) 40-35-01, 40-35-02.  
E-mail: redvst@mstu.edu.ru

**VESTNIK OF MSTU**  
**Volume 26, N 3 (July – September), 2023**  
Scientific journal  
Published since January 1998  
Issued quarterly

**Founder**  
FSAEI HE «Murmansk State  
Technical University»

**Editor-in-Chief**  
Vlasov A. B., Dr Sci. (Engineering), Professor  
(Murmansk, Russia)

**The Editorial Board  
(Food Technology)**

*Deputy Editor:*  
Shokina Yu. V., Dr Sci. (Engineering),  
Ass. Professor (Murmansk, Russia)

*The Editorial Board Members:*  
Alexeev G. V., Dr Sci. (Engineering), Professor  
(Saint-Petersburg, Russia)  
Bredikhin S. A., Dr Sci. (Engineering),  
Ass. Professor (Moscow, Russia)  
Grokhovsky V. A., Dr Sci. (Engineering),  
Professor (Murmansk, Russia)  
Derkach S. R., Dr Sci. (Chemical),  
Professor (Murmansk, Russia)  
Donskaya G. A., Dr Sci. (Biology),  
Ass. Professor (Moscow, Russia)  
Krasulya O. N., Dr Sci. (Engineering),  
Professor (Moscow, Russia)  
Lebskaya T. K., Dr Sci. (Engineering), Professor  
(Kiev, Ukraine)  
Mezenova O. Ya., Dr Sci. (Engineering), Professor  
(Kaliningrad, Russia)  
Mingaleeva Z. Sh., Dr Sci. (Engineering),  
Ass. Professor (Kazan, Russia)  
Ostroukhova E. V., Dr Sci. (Engineering),  
Ass. Professor (Yalta, Russia)  
Pelenko V. V., Dr Sci. (Engineering), Professor  
(Saint-Petersburg, Russia)  
Savenkova T. V., Dr Sci. (Engineering),  
Professor (Moscow, Russia)  
Tolstorebrov I. N., Dr Sci.  
(Trondheim, Norway)

**The Editorial Office address**  
MSTU, Sportivnaya Str., 13,  
183010, Murmansk, RUSSIA.  
Phone/Fax: (8152) 40-33-56.  
Phone: (8152) 40-35-01, 40-35-02.  
E-mail: redvst@mstu.edu.ru

**ISSN 1560-9278 (Print)**  
**ISSN 1997-4736 (Online)**

© ФГАОУ ВО «Мурманский государственный  
технический университет», 2023  
©FSAEI HE «Murmansk State Technical University», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

**Биотехнология пищевых продуктов и биологически активных веществ**

- Глухарев А. Ю., Барабашина С. И., Волченко В. И., Живлянцева Ю. В., Потешкина В. А., Ускова И. В. Использование ферментированного рыбного фарша с пробиотиками в рецептуре сыровяленых колбасных изделий..... 207
- Мезенова О. Я., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю., Калинина Н. С., Волков В. В., Мерзель Й-Т. Исследование биопотенциала продуктов гидролиза отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei*..... 223
- Мерзлякова Н. В., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Пестова И. Г., Кулагова Е. П. Прогнозирование антимикробной активности пищевого пептида и оценка его эффективности *in vitro*..... 232

**Пищевые системы**

- Антипова Т. А., Андросова Н. Л., Фелик С. В., Симоненко С. В., Кудряшова О. В. Разработка состава и технологии сухих напитков на основе молочной сыворотки..... 242
- Ерофеева А. В., Бурмасова М. А., Сысоева М. А. Получение напитков на овсяной основе с растительными добавками..... 249
- Марадудин М. С., Симакова И. В., Марадудин А. М. Влияние муки фасоли красной продовольственной на реологические свойства макарон..... 257
- Петров Б. Ф. Разработка методологии создания технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов..... 264
- Резниченко И. Ю., Егушова Е. А., Донченко Т. А. Мониторинг качества рыбы в обеспечении устойчивой безопасности продукции..... 272
- Саукенова М. М., Нургалиева Б. М., Белоглазова К. Е., Ушакова Ю. В., Рысмухамбетова Г. Е. Разработка рецептуры мороженого с использованием кобыльего молока и полисахаридов... 281
- Славянский А. А., Митрошина Д. П., Грибкова В. А., Ермолаев В. А., Бондарчук О. Н. Свекловичный жом сахарного производства и перспективы его использования..... 292
- Хамитова А. С., Нургалиева Б. М., Белоглазова К. Е., Рысмухамбетова Г. Е., Иванова Л. М. Разработка технологии соуса молочного с добавлением гуарана..... 304
- Шокин Г. О., Мандрыка К. С., Шокина Ю. В. К вопросу о совершенствовании математической модели процесса пиролиза в дымогенераторах с терморadiационным энергоподводом периодического и непрерывного действия..... 316

**Промышленное рыболовство**

- Лисенко С. В., Иванко Н. С. Решение задачи оптимизации рыбодобывающей деятельности..... 335

## CONTENTS

### Biotechnology of food products and biologically active substances

- Glukharev A. Yu., Barabashina S. I., Volchenko V. I., Zhivlyantseva Ju. V., Poteshkina V. A., Uskova I. V.** The use of fermented minced fish with probiotics in the recipe composition of dry-cured sausages..... 207
- Mezenova O. Ya., Agafonova S. V., Romanenko N. Yu., Kalinina N. S., Volkov V. V., Merzel Y-T.** Investigation of the biopotential of products of hydrolysis of waste from cutting the white-legged shrimp *Penaeus vannamei*..... 223
- Merzlyakova N. V., Tikhonov S. L., Tikhonova N. V., Pestova I. G., Kulagova E. P.** Prediction of antimicrobial activity of a food peptide and evaluation of its effectiveness *in vitro*..... 232

### Food systems

- Antipova T. A., Androsova N. L., Felik S. V., Simonenko S. V., Kudryashova O. V.** Development of the composition and technology of dry drinks based on whey..... 242
- Yerofeyeva A. V., Burmasova M. A., Sysoeva M. A.** Producing plant-supplemented oat-based beverages..... 249
- Maradudin M. S., Simakova I. V., Maradudin A. M.** Effect of red food bean flour on the rheological properties of pasta..... 257
- Petrov B. F.** Development of methodology for creating technologies for processing low-grade semi-finished products of fish oils and fatty waste..... 264
- Reznichenko I. Yu., Egushova E. A., Donchenko T. A.** Fish quality monitoring for sustainable product safety..... 272
- Saukenova M. M., Nurgalieva B. M., Beloglazova K. E., Ushakova Yu. V., Rysmukhambetova G. Y.** Development of an ice cream recipe using mare's milk and polysaccharides..... 281
- Slavyansky A. A., Mitroshina D. P., Gribkova V. A., Ermolaev V. A., Bondarchuk O. N.** Beet pulp of sugar production and prospects for its use..... 292
- Khamitova A. S., Nurgalieva B. M., Beloglazova K. E., Rysmukhambetova G. E., Ivanova L. M.** Development of the technology of milk sauce with the addition of guarana..... 304
- Shokin G. O., Mandryka K. S., Shokina Yu. V.** On the issue of improving the mathematical model of the pyrolysis process in smoke generators with thermal radiation power supply of periodic and continuous action..... 316

### Industrial fishery

- Lisienko S. V., Ivanko N. S.** Solving the problem of optimizing fishing activities..... 335

УДК 664.952:579.676

## Использование ферментированного рыбного фарша с пробиотиками в рецептуре сыровяленых колбасных изделий

А. Ю. Глухарев\*, С. И. Барабашина, В. И. Волченко, Ю. В. Живлянцева,  
В. А. Потешкина, И. В. Ускова

\*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;  
e-mail: [GlukharevAYu@yandex.ru](mailto:GlukharevAYu@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6083-546X>

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
08.06.2023;

получена  
после доработки  
03.08.2023;

принята к публикации  
09.08.2023

### Ключевые слова:

колбасные изделия,  
рыбные сыровяленые  
колбаски,  
ферментация,  
рыбный фарш,  
пробиотики,  
*Lactobacillus plantarum*

### Для цитирования

В работе анализируется влияние использования ферментированного рыбного фарша (ФРФ) с пробиотиком *L. plantarum* в рецептуре сыровяленых колбасных изделий (колбасок) на качественные характеристики готового продукта в сравнении с колбасками на основе необработанного рыбного фарша. Оценены микробиологические, физико-химические, структурно-механические и органолептические свойства продукта. Результаты показывают, что образцы колбасок на основе ФРФ обладают более высоким содержанием пробиотиков ( $2,5 \times 10^8$  КОЕ/г) по сравнению с контрольным образцом ( $6,3 \times 10^6$  КОЕ/г), что позволяет полностью удовлетворить суточную норму в пробиотиках за счет употребления 40 г такого продукта. Использование ФРФ обеспечивает безопасные значения pH (5,21) и приводит к значительному увеличению общей кислотности (1,39 %) по сравнению с контрольным образцом (pH – 6,80, общая кислотность – 0,45 %). Установлено, что использование ФРФ в технологии сыровяленых рыбных колбасок позволяет сократить время их изготовления за счет увеличения среднего темпа обезвоживания продукта. Определено, что более высокими значениями твердости и усилия резания обладают образцы колбасок на основе ФРФ. Комплексная оценка качества колбасок на основе ФРФ показала хорошие результаты – 76,85 % от максимально возможного уровня. Определена возможность использования ФРФ с *L. plantarum* при изготовлении сыровяленых колбасок. Предложенный способ позволяет получить продукт с высоким содержанием белка (32,31 %), обогащенный пробиотиками *L. plantarum*, обладающий низким значением pH и своеобразным кисломолочным вкусом и ароматом. По результатам исследования разработана и утверждена нормативно-техническая документация на данный вид продукции.

Глухарев А. Ю. и др. Использование ферментированного рыбного фарша с пробиотиками в рецептуре сыровяленых колбасных изделий. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 207–222. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-207-222>.

## The use of fermented minced fish with probiotics in the recipe composition of dry-cured sausages

Andrei Y. Glukharev\*, Sofiia I. Barabashina, Vasily I. Volchenko,  
Julia V. Zhivlyantseva, Viktoriya A. Poteshkina, Inga V. Uskova

\*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;  
e-mail: [GlukharevAYu@yandex.ru](mailto:GlukharevAYu@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6083-546X>

### Article info

Received 08.06.2023;

received  
in revised form  
03.08.2023;

accepted 09.08.2023

### Key words:

sausages,  
dry-cured fish sausages,  
fermentation,  
minced fish,  
probiotics,  
*Lactobacillus plantarum*

### For citation

### Abstract

The paper analyzes the effect of using fermented minced fish (FMF) with the *L. plantarum* probiotic in the formulation of dry-cured sausages on the quality characteristics of the finished product in comparison with sausages based on unprocessed minced fish. The microbiological, physico-chemical, structural-mechanical and organoleptic properties of the product have been evaluated. The results have shown that dry-cured sausage samples with FMF had a higher content of probiotics ( $2,5 \times 10^8$  CFU/g) compared to the control sample ( $6,3 \times 10^6$  CFU/g), which allows a person to fully meet the daily requirement in probiotics with just through the use of 40 g of such a product. The use of FMF in the dry-cured fish sausages provides a safe pH value (5.21) and significant increase in total acidity (1.39 %) compared to the control sample (pH – 6.80 and total acidity – 0.45 %). It has been established that using FMF in the technology of dry-cured fish sausages can reduce the time of their manufacture by increasing the average rate of dehydration of the product. It has been determined that samples of dry-cured sausages with FMF have higher values of hardness and cutting force. A comprehensive assessment of the quality of sausages with FMF has shown good results – 76.85 % of the maximum possible level. Thus, the possibility of using FMF with *L. plantarum* in the manufacture of dry-cured sausages has been determined. The proposed method makes it possible to obtain a product with a high protein content (32.31 %), enriched with *L. plantarum* probiotics, having a low pH value and a peculiar sour-milk taste and aroma. Based on the results of the study, normative and technical documentation for this type of product has been developed and approved.

Glukharev, A. Yu. et al. 2023. The use of fermented minced fish with probiotics in the recipe composition of dry-cured sausages. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 207–222. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-207-222>.

## Введение

Производство колбасных изделий в РФ находится на довольно высоком уровне – 2,44–2,61 млн т в год<sup>1</sup>, что обусловлено постоянным спросом – ежедневно колбасные изделия потребляют 22,5 % населения страны (Карамнова и др., 2018), высоким темпом жизни современного человека и его стремлением к употреблению готовых продуктов (Godfray et al., 2018). Вместе с этим многие из традиционных видов колбас относятся к деликатесным видам продукции, которые не рекомендовано употреблять часто из-за высокой калорийности и жирности, большого содержания хлорида натрия, чтобы не вызвать проблемы со здоровьем (ожирение, сердечно-сосудистые заболевания и др.) (Toldrá et al., 2014).

Учитывая вышесказанное и принимая во внимание, что современный потребитель относится осознанно и ответственно к своему здоровью, производитель постоянно стремится к повышению качества выпускаемой продукции, обновлению ассортимента и созданию полезных для организма человека продуктов питания (диетических и профилактических), употребление которых не будет столь ограничено в соответствии с принципами здорового питания. В этой связи современные тенденции в технологии производства продуктов питания направлены на создание новых колбасных изделий за счет расширения сырьевых источников и использования нетрадиционных видов сырья, а также добавления функциональных пищевых ингредиентов (ФПИ), укрепляющих здоровье людей всех возрастных групп, повышающих качество, безопасность и срок годности продукта.

В качестве нетрадиционного сырья в технологии колбасных изделий может использоваться мясо рыбы, которое по пищевой ценности не уступает мясу теплокровных животных, а во многих отношениях даже превосходит его (Сарбатова и др., 2015). Мясо рыбы является продуктом, обладающим высокой пищевой и биологической ценностью за счет содержания в нем высококачественных белков со сбалансированным составом незаменимых аминокислот, жирорастворимых витаминов (А, D, Е) и антиоксидантов, омега-3 полиненасыщенных жирных кислот и минеральных веществ (в особенности кальция, магния и фосфора) (Ключникова и др., 2022; Tilami et al., 2018). Именно поэтому колбасные изделия из рыбного сырья могут употребляться в качестве диетических и лечебно-профилактических продуктов, а также в детском и школьном питании. Особое преимущество рыбных колбас по сравнению с традиционными мясными колбасами также заключается в возможности использования для их производства малоценных видов рыб, которые ранее направлялись на кормовые цели и обычно не использовались населением в пищу из-за малых размеров, недостаточно высоких вкусовых качеств, трудностей, связанных с их переработкой, и других причин.

Еще одним аспектом, который добавляет функциональные свойства к высокой питательной ценности рыбных колбасных изделий, является использование в технологии их производства пробиотиков. Пробиотики – это ФПИ в виде полезных живых микроорганизмов, обладающих функциональной значимостью для организма человека. Они положительно влияют на равновесие микрофлоры в желудочно-кишечном тракте человека, а также уменьшают симптомы мальабсорбции лактозы, способствуют профилактике и лечению ротавирусной диареи. Использование данного ФПИ для изготовления рыбных колбасных изделий обусловлено повышением потребительского спроса на немолочные продукты с пробиотиками (Хамагаева и др., 2006). Такие продукты могут иметь особое преимущество на рынке в случаях непереносимости лактозы и аллергии на молочный белок (казеин), а также при наличии потребительского интереса к продуктам с низким содержанием холестерина (Журавлева и др., 2014; Никифорова, 2020; Speranza et al., 2017; Ranadheera et al., 2017).

Из всего ассортимента колбасных изделий сыровяленые колбасы являются одним из наиболее подходящих видов продукта для использования пробиотиков. В технологическом процессе изготовления сыровяленых колбас не применяется термическая обработка, что увеличивает шансы пробиотиков на выживание (Vuyst et al., 2008). В то же время некоторые ингредиенты колбасного фарша (хлористый натрий, нитриты и нитраты) и технологические условия на разных стадиях производства (кислотность, активность воды) оказывают негативное влияние на рост и развитие пробиотиков, их антагонистическую активность, создание благоприятного эффекта в продукте. При этом ежедневное потребление пробиотиков должно быть на уровне не менее  $10^8$ – $10^{10}$  колониеобразующих единиц (КОЕ)/сут<sup>2</sup> для обеспечения необходимого терапевтического эффекта (Champagne et al., 2011).

Одним из наиболее популярных методов, направленных на сохранение жизнеспособности пробиотиков, улучшение их роста и развитие полезных свойств в продукте, является ферментация. Во время ферментации происходит продуцирование органических кислот и бактериоцинов, а также ферментов, перекиси водорода, лизоцима и диацетила, которые позволяют повысить микробиологическую стабильность и безопасность продукта без использования жесткой тепловой обработки и синтетических добавок (Speranza et al., 2017; Зайчикова и др., 2021). Ферментация позволяет модифицировать свойства исходного сырья и полуфабриката, придавать определенные качественные показатели готовой продукции (Speranza et al., 2017; Зайчикова и др., 2021).

<sup>1</sup> BusinesStat готовые обзоры рынков. Анализ рынка колбасных изделий и мясных деликатесов в России в 2018–2022 гг., прогноз на 2023–2027 гг. в условиях санкций / BusinesStat. М., 2023. 139 с.

<sup>2</sup> Это соответствует 100 г продукта, содержащего от  $10^6$  до  $10^8$  КОЕ/г пробиотических микроорганизмов.

Быстрое подкисление колбасного фарша во время ферментации до конечных значений  $\text{pH} = 5,3$  или ниже обеспечивает микробиологическую безопасность и увеличивает срок годности готовых колбасных изделий (Toldrá et al., 2014).

На основании полученных ранее экспериментальных данных о возможности применения пробиотиков в производстве рыбных сыровяленых колбас был выбран *Lactobacillus plantarum* в качестве наиболее перспективного штамма (Глухарев и др., 2021) из-за наилучшего микробиологического роста, хорошего снижения  $\text{pH}$  и увеличения общей кислотности, улучшения органолептических свойств готового продукта. Однако при этом  $\text{pH}$  готовых колбасных изделий находился на уровне 6,81–7,26 единиц, что является нежелательным.

В данной работе для установления и поддержания в продукте кислой реакции среды, необходимой для предотвращения развития нежелательной микрофлоры, проводили предварительную ферментацию сырого рыбного фарша с использованием пробиотических микроорганизмов *L. plantarum* и сахарозы без внесения в него хлористого натрия, пряностей и других пищевых ингредиентов. Использование такого обработанного (ферментированного) рыбного фарша в технологии колбасных изделий, особенно сыровяленых, может позволить усовершенствовать процесс изготовления пищевого продукта с точки зрения безопасности, эффективности и обогащения его функционально значимыми для человека биологически активными соединениями. Тем не менее, учитывая специфические особенности такого фарша (кислый запах, плотная консистенция и прочее), следует комплексно изучить его влияние на качество получаемого продукта.

Таким образом, цель работы состояла в исследовании возможности использования ферментированного рыбного фарша с пробиотиком *L. plantarum* в рецептуре рыбных сыровяленых колбасных изделий, а также оценке качества готового продукта.

#### Объекты и методы исследования

Объектами исследования при выполнении экспериментальной части работы являлись: неразделанная мороженая северная путассу (*Micromesistius poutassou*), отвечающая требованиям ТУ 10.20.10-210-00472093-2017 "Рыба и продукты рыбные мороженые. Технические условия"<sup>3</sup>; стартовая культура (бактериальная закваска) *Lactobacillus plantarum* Vege-Start 60 (Chr. Hansen, Horsholm, Denmark), отвечающая требованиям Регламента (ЕС) № 178/2002; ферментированный рыбный фарш с *L. plantarum*; образцы рыбных сыровяленых колбасок (рис. 1), приготовленные на основе ферментированного рыбного фарша (опытный образец) и необработанного рыбного фарша (контрольный образец). Предметом исследования данной работы являлась технология изготовления рыбных сыровяленых колбасных изделий.



Рис. 1. Фотографии образцов рыбных сыровяленых колбасок:  
а – в начале процесса сушки; б – в конце процесса сушки

Fig. 1. Photos of samples of dry-cured fish sausages:  
а – at the beginning of the drying process; б – at the end of the drying process

Перед внесением в рыбный фарш бактериальную закваску проверяли на микробиологическую безопасность: бактерии группы кишечных палочек (БГКП) – ГОСТ 32901-2014; дрожжи и плесневые грибы – ГОСТ 33566-2015; золотистый стафилококк (*Staphylococcus aureus*) – ГОСТ 30347-2016; патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы – ГОСТ 31659-2012, устанавливали состав микрофлоры закваски (ГОСТ 33951-2016), кислотообразующую активность закваски определяли по нарастанию титруемой

<sup>3</sup> Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

кислотности (ГОСТ 3624-92) и по изменению активной кислотности (рН) (ГОСТ 32892-2014) согласно ГОСТ 34372-2017.

Бактериологические исследования проводили с использованием тринокулярного светового микроскопа Olympus CX23LEDRFS1 под масляной иммерсией с общим увеличением  $\times 1000$ . Фотосъемку препаратов выполняли с помощью цифровой камеры ADF и программного обеспечения ADF Image Capture. Видовая идентификация микробных изолятов осуществлялась с применением матрично-активированной лазерной десорбции/ионизации с времяпролетным разделением MALDI-ToF MS (Matrix-Assisted Laser Desorption/Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometry) с помощью масс-спектрофотометра Microflex и базы данных MALDI Biotyper на базе централизованной многофункциональной лаборатории (ЦМЛ) государственного областного бюджетного учреждения здравоохранения "Мурманская областная клиническая больница имени П. А. Баяндина" (ГОБУЗ "МОКБ им. П. А. Баяндина").

Образцы рыбных сыровяленых колбасок подготавливали в соответствии со схемой, представленной на рис. 2. Основное отличие в технологии получения образцов рыбных колбасок заключалось в том, что опытный образец был приготовлен с использованием ферментированного рыбного фарша, содержащего в своем составе *L. plantarum*, а контрольный образец – с использованием необработанного рыбного фарша, бактериальную стартовую культуру *L. plantarum* вводили непосредственно в процессе смешивания фарша с остальными ингредиентами.

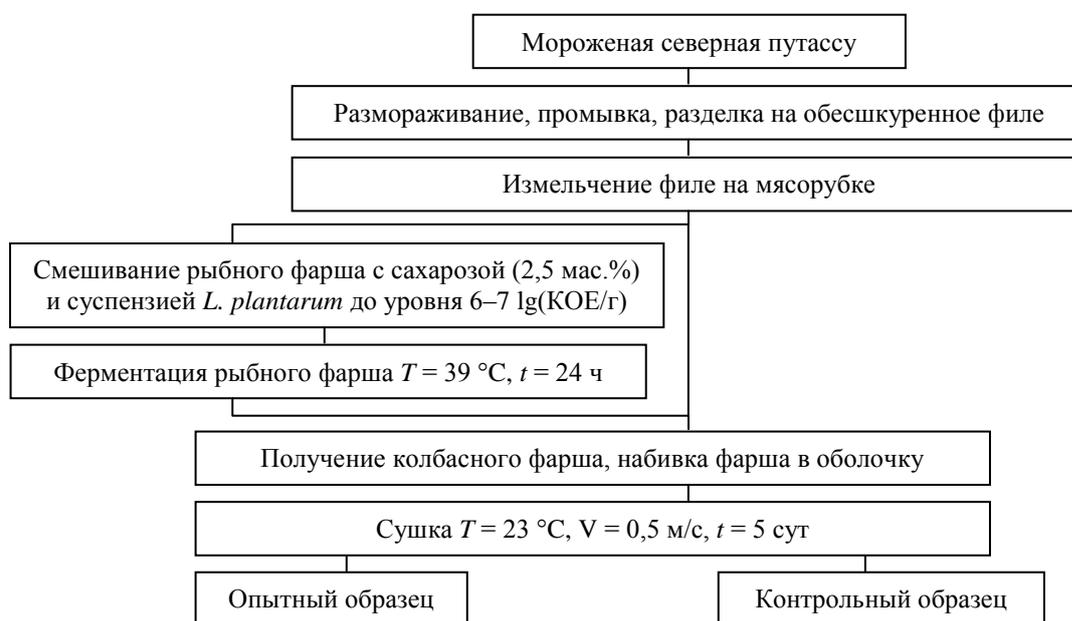


Рис. 2. Технологическая схема получения образцов рыбных сыровяленых колбасок  
Fig. 2. Flow diagram for obtaining samples of dry-cured fish sausages

Образцы рыбных сыровяленых колбасок в процессе сушки отбирали для анализа каждые 24 ч. Отбор проб для исследований осуществляли в соответствии с ГОСТ 31339-2006.

Химический состав образцов колбасок определяли следующими методами: содержание влаги, белка, жира и золы – ГОСТ 7636-85; массовую долю влаги определяли методом высушивания при 105 °С, белка – методом Кьельдаля, жира – экстракционным методом в аппарате Сокслета, золы (минеральных веществ) – методом сжигания при 550 °С. Содержание белка рассчитывали путем умножения содержания общего азота (ОА) на коэффициент, равный 6,25. Массовую долю небелкового (НБА) и аминного азота (АА) определяли методами осаждения и формольного титрования (Волченко и др., 2020).

Активную кислотность (рН) образцов колбасок измеряли в водной вытяжке потенциометрическим методом на рН-метре-иономере "ЭКСПЕРТ-001" по ГОСТ 28972-91. Общую (титруемую) кислотность – по ГОСТ 27082-2014.

Средний темп обезвоживания образцов колбасок оценивали по формуле

$$v^{-c} = \frac{w_0^c - w_t^c}{t}, \quad (1)$$

где  $w_0$ ,  $w_t$  – начальная и конечная влажность продукта, %;  $t$  – продолжительность обезвоживания, сут.

Подготовку проб для определения микробиологических показателей проводили по ГОСТ 31904-2012. Количественный учет пробиотических молочнокислых бактерий выполняли по ГОСТ 10444.11-2013 (ISO 15214:1998). Проверку образцов рыбных сыровяленых колбасок на отсутствие санитарно-показательных микроорганизмов осуществляли в соответствии с микробиологическими нормативами безопасности пищевой

рыбной продукции, установленными в Техническом регламенте Евразийского экономического союза "О безопасности рыбы и рыбной продукции" (ТР ЕАЭС 040/2016).

Структурно-механические показатели (твёрдость и усилие резания) исследуемых образцов рыбных сыровяленых колбасок определяли при помощи анализатора текстуры FRTS-50N (IMADA CO., LTD, Япония) в соответствии с методикой, приведенной в руководстве по эксплуатации прибора. Твёрдость определялась с использованием дискового индентора (FR FR-NA-20J), оценка усилия резания (среза) – с использованием клиновидного индентора (FR-KS-2030-60J). Испытания проводили при постоянной скорости погружения инденторов (2 мм/сек) и комнатной температуре (23–25 °С).

Органолептическую оценку образцов рыбных сыровяленых колбасок высчитывали по ГОСТ 7631-2008 по пятибалльной шкале, специально разработанной для этого вида продукта (табл. 1).

Таблица 1. Балльная шкала оценки образцов рыбных сыровяленых колбасок  
Table 1. Scoring scale for organoleptic evaluation of samples of dry-cured fish sausages

Показатель	Словесная характеристика	Балл
Внешний вид	Батончики с чистой, сухой поверхностью, без пятен, повреждений оболочки, слипов, наплывов фарша, наличие складок	5
	Батончики с чистой, сухой поверхностью, без поврежденной оболочки, допускаются незначительные пятна, слипы, наплывы фарша, наличие складок	4
	Батончики с чистой, слегка влажной поверхностью, с слегка мятой оболочкой	3
	Батончики с слегка загрязненной, влажной поверхностью, с сильно мятой оболочкой	2
	Батончики с сильно загрязненной и очень влажной поверхностью, поврежденной оболочкой	1–0
Цвет и вид на разрезе	Фарш равномерно перемешан, без серых пятен и пустот, цвет однородный белый, с включением пряностей	5
	Фарш равномерно перемешан, с единичными серыми пятнами, без пустот, цвет белый с незначительным серым или бежевым оттенком, с включением пряностей	4
	Фарш слегка неравномерно перемешан, цвет неоднородный от светло-серого до светло-бежевого, с небольшим включением частиц кожи и пленки	3
	Фарш неравномерно перемешан, цвет серый или бежевый, с вкраплениями черной пленки и другими посторонними вкраплениями	2
	Неоднородная масса, цвет темно-серый или темно-бежевый, с множественными вкраплениями черной пленки и другими посторонними примесями	1–0
Запах	Приятный, без постороннего запаха, выраженный аромат пряностей. Допускается легкий кисломолочный аромат, напоминающий запах кефира или ряженки	5
	Приятный, выраженный аромат пряностей, слегка выраженный запах свойственный данному виду рыбы, без постороннего запаха	4
	Выраженный рыбный запах	3
	Ярко выраженный неприятный рыбный запах	2
	Неприятный, посторонний запах	1
Консистенция	Плотная, твердая	5
	Плотная, слегка ослабленная	4
	Мягкая или жесткая	3
	Слишком мягкая или трудно пережевываемая	2
	Пастообразная, водянистая	1–0
Вкус	Приятный, без постороннего привкуса, слегка острый, солоноватый. Допускается наличие кисловатого привкуса	5
	Приятный, слегка ослабленный вкус за счет чрезмерно кисломолочного или преобладающего пряного вкуса	4
	Менее приятный, мало свойственный сыровяленым рыбным колбасам	3
	Малоприятный или невыраженный, излишне острый	2
	Неприятный, посторонний вкус	1–0

Для оценки качества и безопасности образцов рыбных сыровяленых колбасок применяли квалиметрический подход с использованием комплексного безразмерного показателя (Лукина и др., 2022). Номенклатура показателей, объективно характеризующих качество образцов рыбных сыровяленых колбас, представлена в табл. 2. Стоит отметить, что оценка образцов колбас по показателям безопасности проводилась без учета токсичных элементов, пестицидов и радиационных показателей в связи с использованием пищевого сырья и материалов, соответствующих требованиям, установленным нормативно-правовыми актами Российской Федерации.

Таблица 2. Шкала комплексной оценки качества образцов рыбных сыровяленых колбасок  
Table 2. Scale for comprehensive assessment of the quality of samples of dry-cured fish sausages

Показатели качества	Групповой коэффициент весомости	Внутригрупповые показатели качества продукции	Внутригрупповые коэффициенты весомости	Значение для эталона
А, показатели безопасности*	1;0	Бактерии группы кишечных палочек (колиформы), в 0,1 г	1;0	не допускаются
		<i>E. coli</i> , в 1,0 г	1;0	не допускается
		<i>S. aureus</i> в 1,0 г	1;0	не допускается
		Сульфитредуцирующие клостридии, в 0,01 г	1;0	не допускаются
Б, органолептические показатели	0,35	Внешний вид	0,20	5
		Консистенция	0,20	5
		Цвет и вид на разрезе	0,20	5
		Запах	0,20	5
		Вкус	0,20	5
В, показатели пищевой ценности**	0,35	Содержание: влаги в 100 г продукта	0,15	30,0
		белка в 100 г продукта	0,25	от 60 до 114
		жира в 100 г продукта	0,25	от 57 до 127
		пробиотиков, lg(КОЕ/г)	0,35	10
Г, физико-химические	0,30	Значение pH	1,0	5,5

Примечания. \*Групповой коэффициент весомости равен 1 при соблюдении всех требований нормативной документации (НД), 0 – при невыполнении требований хотя бы по одному показателю НД. \*\*Приведены рекомендованные уровни адекватного суточного потребления основных пищевых нутриентов и минорных веществ пищи для взрослого человека<sup>4</sup>.

Комплексный безразмерный показатель качества образцов рыбных сыровяленых колбасок рассчитывали по формуле

$$K = M_{Aj} \cdot \left( M_{Bi} \cdot \sum_{i=1}^z m_{Bi} \cdot k_{Bi} + M_B \cdot \sum_{i=1}^g m_{Bi} \cdot k_{Bi} + M_{\Gamma} \cdot \sum_{i=1}^q m_{\Gamma i} \cdot k_{\Gamma i} \right), \quad (2)$$

где  $M_{Aj}$  – коэффициент, характеризующий безопасность пищевого продукта;  $M_B$ ,  $M_{\Gamma}$ ,  $M_D$  – коэффициенты весомости для групп свойств, характеризующих соответственно органолептические показатели (Б), пищевую ценность исследуемого продукта (В), физико-химические изменения (Г);  $k_{Bi}$ ,  $k_{B_i}$ ,  $k_{\Gamma i}$  – безразмерная величина, характеризующая значение каждого показателя качества пищевого продукта относительно выбранного базового образца сравнения (эталона);  $m_{Bi}$ ,  $m_{B_i}$ ,  $m_{\Gamma i}$  – внутригрупповые коэффициенты весомости  $i$ -х показателей потребительских свойств и (или) качества внутри каждой группы свойств;  $z$ ,  $g$ ,  $q$  – количество показателей качества, характеризующих соответственно органолептические свойства, пищевую ценность, физико-химические изменения.

Экспериментальная часть работы выполнена на базах научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) кафедры технологий пищевых производств (ТПП) и НИЛ "Химия и технология морских биоресурсов" Мурманского государственного технического университета (МГТУ)<sup>5</sup>. Изготовление образцов рыбных сыровяленых колбасок проводили в учебно-экспериментальном цехе кафедры ТПП МГТУ. Микробиологические исследования проводили на кафедре микробиологии и биохимии МГТУ и в подразделении микробиологии испытательного центра продукции, сырья и материалов ФБУ "Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Мурманской области".

Все эксперименты проводились в трехкратной повторности. Результаты выражали в виде среднего значения и стандартного отклонения. Статистический анализ проводили с использованием программы Microsoft Office Excel 2007. Доверительная вероятность была установлена на уровне 0,95.

<sup>4</sup> МР 2.3.1.0253-21. 2.3.1. Гигиена. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации: взамен МР 2.3.1.2432-08: дата введения 2021-07-22. М. : Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2021. 72 с.

<sup>5</sup> В настоящее время – Мурманский арктический университет (МАУ).

### Результаты и обсуждение

Использование пробиотических микроорганизмов в технологии сыровяленых колбасных изделий является современным биотехнологическим методом обработки сырья животного происхождения, напрямую влияющим на микробиологические, физико-химические, структурно-механические и органолептические свойства пищевого продукта. Чтобы комплексно оценить влияние ферментированного рыбного фарша с пробиотиком *L. plantarum* на качество рыбных сыровяленых колбасных изделий, данные исследования были разбиты на четыре этапа.

Рецептурный состав колбасного фарша для приготовления образцов рыбных сыровяленых колбасок приведен в табл. 3. Стоит отметить, что в контрольный образец ввели 1 000,0 см<sup>3</sup> (на 100 кг несоленого сырья) стартовой культуры *L. plantarum* с содержанием бактерий 9,0·10<sup>7</sup> КОЕ/см<sup>3</sup>, чтобы процесс созревания проходил уже непосредственно в колбасах.

Таблица 3. Рецепт состав колбасного фарша для приготовления образцов рыбных сыровяленых колбасок

Table 3. Recipe composition of minced sausage for the preparation of samples of dry-cured fish sausages

Основное сырье (несоленое)	Количество, кг на 100 кг	
	Опытный образец	Контрольный образец
Ферментированный рыбный фарш из мяса северной путассу с <i>L. plantarum</i>	90,0	–
Фарш из мяса северной путассу	–	90,0
Масло подсолнечное рафинированное дезодорированное	10,0	
Пряности и материалы	Количество, г на 100 кг несоленого сырья	
Соль пищевая	2,0	
Сахароза	1,0	
Смесь пряностей (белый перец молотый : черный перец молотый; 1 : 1)	0,2	
Гуаровая камедь (E412)	0,3	
Витамин С	0,1	
Стартовая культура <i>L. plantarum</i>	–	1 000,0 см <sup>3</sup> (9,0·10 <sup>7</sup> КОЕ/см <sup>3</sup> )

### Микробиологические исследования

На первом этапе исследования был проведен микробиологический анализ бактериальной закваски. Бактериальная закваска соответствовала требованиям нормативно-технической документации по микробиологической чистоте. Бактерий-контаминантов не обнаружено.

Идентификацию полученных микробных изолятов устанавливали на основании морфологических, культуральных, тинкториальных, физиолого-биохимических признаков и окислительно-восстановительных признаков (рис. 3).

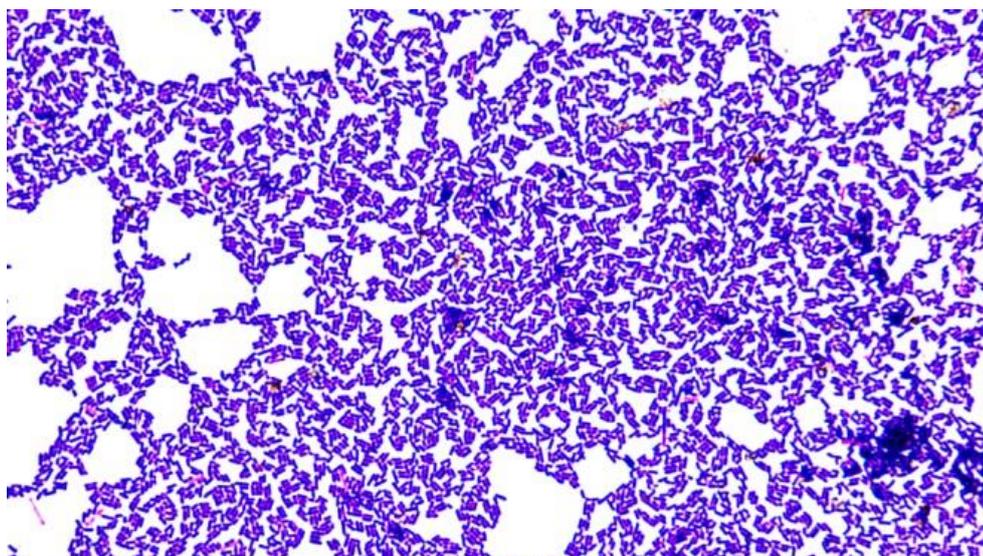


Рис. 3. Микрофотография *Lactobacillus plantarum* (увеличение 1 000×)

Fig. 3. Photomicrography of *Lactobacillus plantarum* (power 1 000×)

При культивировании молочнокислых бактерий на среде Бликфельда (ГОСТ 10444.11-2013 (ISO 15214:1998)) формировали гладкие выпуклые колонии светло-бежевого цвета, с ровным краем, однородной консистенцией диаметром до 2,5 мм.

При микроскопировании были обнаружены грамположительные неспорообразующие палочки. Также микробные изоляты обладали хорошо выраженной сахаролитической активностью – расщепляли глюкозу, лактозу, сахарозу, мальтозу, маннозу и сорбит и не ферментировали рамнозу. Не образовывали каталазу, оксидазу, протеазу. Это свидетельствует о том, что выделенные чистые микробные изоляты относятся к бактериям рода *Lactobacillus*.

В ходе проведения масс-спектрометрии было идентифицировано, что выделенные бактериальные изоляты принадлежат виду *Lactobacillus plantarum*.

Закваска наиболее быстро адаптируется и набирает численность бактерий на питательной среде до  $10^{10}$  КОЕ/г.

Максимальное значение титруемой кислотности 100 градусов Тернера (°Т) закваски достигалось на 5 сутки культивирования – 80 °Т, максимальное значение pH равно 5,44 единиц.

Далее осуществляли подсчет жизнеспособных клеток пробиотических микроорганизмов *L. plantarum* в рыбном фарше во время ферментации и образцах рыбных сыровяленых колбасок в процессе сушки продукта. Результаты данных исследований представлены в табл. 4. Санитарно-показательные микроорганизмы (бактерии группы кишечных палочек, *S. aureus*, сальмонеллы, *L. monocytogenes*, *V. parahaemolyticus*) в рыбном фарше и образцах рыбных сыровяленых колбасок отсутствовали.

Таблица 4. Изменение количества клеток *L. plantarum* в рыбном фарше в процессе ферментации и образцах рыбных сыровяленых колбасок в процессе сушки продукта

Table 4. Change in the number of *L. plantarum* cells in minced fish during fermentation and samples of dry-cured fish sausages during drying

Образец		Образец	
		Опытный	Контрольный
		Количество <i>L. plantarum</i> , lg(КОЕ/г)	
Фарш рыбный	до ферментации	5,70	–
	после ферментации	9,40	–
Рыбные сыровяленые колбаски	Продолжительность сушки, сут		
	0	8,70	5,11
	1	9,40	5,95
	3	8,70	6,79
	5	8,40	6,80

В результате исследования был установлен высокий уровень накопления биомассы *L. plantarum* в процессе ферментации рыбного фарша – количество пробиотических микроорганизмов увеличилось с 5,70 до 9,40 lg(КОЕ/г). Максимальное количество клеток *L. plantarum* в опытных образцах колбасок наблюдалось за первые сутки сушки – 9,40 lg(КОЕ/г), снижение их количества до 8,40 lg(КОЕ/г) происходило в конце процесса сушки. Такое уменьшение биомассы пробиотических микроорганизмов в первую очередь связано с их адаптацией к изменяющимся условиям окружающей среды (низкая кислотность, снижение количества легкодоступных для питания веществ, обезвоживание продукта в процессе сушки). Эти результаты свидетельствуют о том, что необходимы дальнейшие исследования по совершенствованию технологии изготовления данных колбасных изделий с целью повышения выживаемости в них пробиотиков, а также микробиологические исследования продукта в процессе хранения для оценки остаточного содержания пробиотических микроорганизмов на конец рекомендуемого срока годности. *L. plantarum* в контрольном образце колбасок демонстрирует постепенный рост во время всего процесса сушки, максимальное количество клеток составляет 6,80 lg(КОЕ/г) на пятые сутки сушки.

Количественный учет пробиотических микроорганизмов в изучаемых образцах рыбных сыровяленых колбасок позволяет оценить степень удовлетворения суточной потребности в пробиотиках ( $>10^{8-10}$  КОЕ/день) при употреблении данного продукта. Полученные результаты показали, что в сравнении с контрольным образцом использование ферментированного рыбного фарша в рецептуре сыровяленых колбасок позволяет достигать более высокого уровня содержания пробиотиков в продукте, вследствие чего суточную норму можно полностью удовлетворить всего лишь за счет 40 г продукта.

#### Результаты химического анализа

На втором этапе исследований был проведен химический анализ образцов рыбных сыровяленых колбасок в процессе сушки.

Значения pH и общей кислотности (в пересчете на молочную кислоту) образцов рыбных сыровяленых колбасок, наблюдаемые в течение пяти суток сушки, представлены на рис. 4. Начальные значения pH

опытного образца колбасок были ниже по сравнению с контрольным образцом на 1,16 единиц. В течение трех суток сушки pH опытных образцов колбасок снизился на 0,39 единиц, а в конце процесса сушки наблюдалось незначительное увеличение pH на 0,06 единиц. Наблюдаемые значения pH опытных образцов колбасок (5,17–5,21 единиц) обеспечивают безопасность продукта в отношении патогенных бактерий, например, таких как *E. coli* и *S. aureus*. Значения pH контрольных образцов колбасок не соответствовали безопасным (pH 5,3 или ниже): в течение трех суток сушки pH повышался с 6,70 до 7,03 единиц, а затем следовало снижение pH до 6,80 единиц.

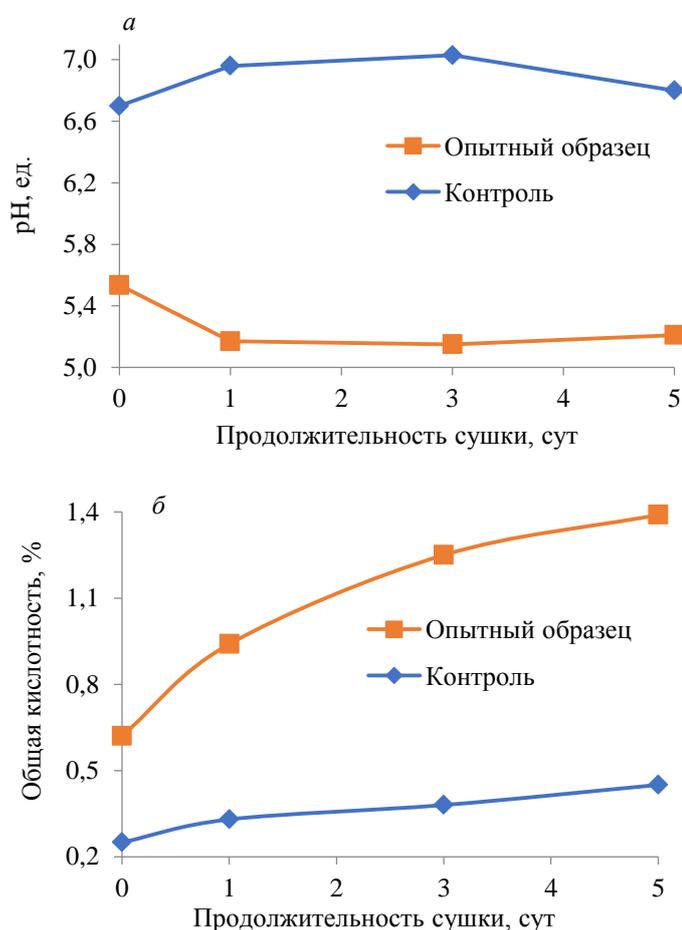


Рис. 4. Изменение pH (а) и общей кислотности (б) образцов рыбных сыровяленых колбасок в процессе сушки

Fig. 4. Changes in pH (a) and total acidity (b) of samples of dry-cured fish sausages during the drying

Увеличение общей кислотности (в пересчете на молочную кислоту) наблюдалось во всех образцах рыбных сыровяленых колбасок (рис. 4). Было установлено, что образование молочной кислоты в процессе сушки происходило быстрее всего в опытном образце колбасок по сравнению с контрольным образцом. Так, общая кислотность увеличилась на 0,20 % в контрольном образце и на 0,77 % – в опытном. Таким образом, данные результаты показали, что использование ферментированного рыбного фарша в рецептуре рыбных сыровяленых колбасок положительно повлияло на скорость подкисления продукта во время сушки, вследствие чего технология получения этого продукта стала более безопасной в отношении санитарно-показательных микроорганизмов.

Влажность является одной из самых важных характеристик продуктов из сырья животного происхождения, в том числе колбас, от нее зависят структура продукта и развитие общей микрофлоры. Влияние продолжительности сушки на изменение массовой доли влаги (в пересчете на сухую массу) в образцах рыбных колбасок представлено на рис. 5. Визуальная оценка кривых кинетики сушки позволяет разделить данный процесс на два периода: период постоянной скорости сушки, условно приходящийся на первые сутки, и период падающей скорости сушки, происходящий после первых суток. Из литературных источников известно, что во время первого периода сушки удаляется свободно связанная вода, макрокапиллярная влага, а во время второго – связанная вода, более прочно удерживаемая химическими веществами продукта (Ершов и др., 2015). По своей форме кривые кинетики обезвоживания колбас приближаются к аналогичным кривым капиллярно-пористых коллоидных тел. Наблюдается, что удаление влаги из опытных образцов

колбасок, приготовленных с использованием ферментированного рыбного фарша, происходило быстрее, что отчетливо видно из рисунка по более крутому наклону кривой кинетики сушки за первые сутки обезвоживания. Средний темп обезвоживания опытных образцов колбасок (35,07 % к массе сухого вещества/сут) был выше по сравнению с контролем (34,42 % к массе сухого вещества/сут). Такие результаты можно объяснить тем, что, вероятно, снижение pH до изоэлектрической точки белков (5,2 до 5,5), способствует уменьшению влагоудерживающей способности продукта. Использование ферментированного рыбного фарша в рецептуре рыбных сыровяленых колбас является более выгодным с точки зрения снижения расходов на электроэнергию при сушке данного вида пищевого продукта в сушильных установках.

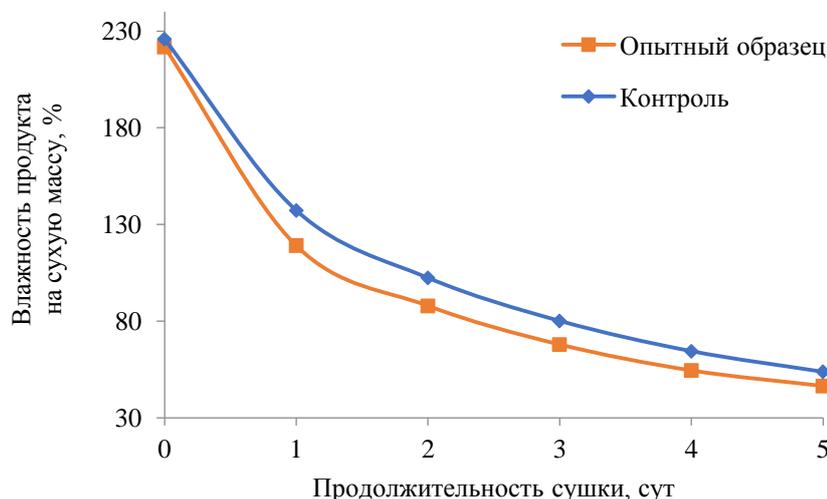


Рис. 5. Кривые кинетики сушки образцов рыбных сыровяленых колбасок

Fig. 5. Curves of the kinetics of drying samples of dry-cured fish sausages

В колбасных изделиях в процессе сушки происходит ряд сложных биохимических и физико-химических изменений (обезвоживание, денатурация и гидролиз белков, липидов и прочее), которые ускоряются при использовании микроорганизмов в качестве стартовых культур. В табл. 5 представлены результаты изменения химического состава и содержания азотистых веществ в образцах рыбных сыровяленых колбасок. В готовых образцах колбасок наблюдается значительное увеличение содержания белка, липидов и золы, что является естественной закономерностью при значительном снижении массовой доли влаги в продукте в процессе сушки. Результаты показывают, что содержание белка и золы в опытных образцах колбасок по сравнению с контролем было больше на 3,73 и 2,49 % соответственно. Это может быть связано с более низким содержанием влаги в опытных образцах колбасок (26,95 %) по сравнению с контрольным образцом (31,67 %).

Таблица 5. Изменение химического состава и содержания азотистых веществ в образцах рыбных сыровяленых колбасок

Table 5. Changes in the chemical composition and content of nitrogenous substances in samples of dry-cured fish sausages

Показатель	Образец			
	Опытный		Контроль	
	Продолжительность сушки, сут			
	0 сут	5 сут	0 сут	5 сут
Химический состав				
Влага, %	68,92 ± 0,14	26,95 ± 0,76	69,31 ± 0,65	31,67 ± 0,25
Белок (ОА×6,25), %	15,06 ± 0,48	32,31 ± 0,21	15,56 ± 0,08	28,56 ± 0,09
Липиды, %	9,84 ± 0,43	22,39 ± 0,48	10,68 ± 0,38	25,75 ± 0,58
Золы (минеральные вещества), %	3,18 ± 0,01	7,02 ± 0,06	2,81 ± 0,01	4,53 ± 0,05
Содержание азотистых веществ				
ОА, %	2,41 ± 0,08	5,17 ± 0,12	2,49 ± 0,02	4,57 ± 0,01
НБА, %	0,37 ± 0,01	0,80 ± 0,01	0,30 ± 0,01	0,57 ± 0,01
АА, мг/100 г	32,44 ± 0,03	75,16 ± 0,03	28,48 ± 0,02	103,23 ± 0,05
НБА/ОА×100, %	15,35	15,47	12,05	12,47
АА/ОА×100, %	1,35	1,45	1,14	2,26

Ферментные системы микроорганизмов (протеиназы, аминопептидазы, деаминазы, декарбоксилазы и др.) могут катализировать гидролиз белкового компонента колбасных изделий с образованием нежелательных низкомолекулярных соединений (например, биогенных амидов), которые в большом количестве могут негативно влиять на качество и безопасность готового продукта. К одним из наиболее часто применяемых показателей для оценки глубины гидролиза белков, входящих в состав продукции, относят степень накопления НБА или АА на единицу азота белка. Согласно данным, представленным в табл. 5, использование ферментированного рыбного фарша в рыбных сыровяленых колбасках не привело к серьезным изменениям азотистых веществ продукта в процессе сушки. Так, в опытных образцах колбасок показатель НБА/ОА изменялся с 15,35 по 15,47 %, а АА/ОА – с 1,35 до 1,45 %. Показатель НБА/ОА в контрольном образце колбасок вырос на 0,42 % по сравнению с исходным образцом (до сушки), а показатель АА/ОА увеличился на 1,12 %. Представленные результаты показали, что в контрольном образце степень накопления НБА и АА на единицу азота белка была выше, чем в опытном образце. Такое различие, вероятно, может быть связано с тем, что пробиотические микроорганизмы в опытных образцах во время роста более интенсивно потребляли данные азотистые соединения. Таким образом, результаты изучения данных показателей доказали, что в процессе изготовления образцов рыбных сыровяленых колбасок не происходит существенного накопления продуктов гидролиза белка. Это свидетельствует о том, что данные микроорганизмы не обладают высокой протеолитической активностью и не несут потенциальной опасности для здоровья из-за образования в колбасных изделиях больших концентраций продуктов распада белка.

#### Структурно-механические исследования

На *третьем этапе исследований* оценивались структурно-механические свойства образцов рыбных сыровяленых колбасок с использованием анализатора текстуры IMADA FRTS-50N. В табл. 6 представлены результаты структурно-механических испытаний образцов колбасок. Все образцы колбасок увеличили прочность структуры: твердость и усилие резания. Это объясняется постепенным уменьшением размеров микрокапилляров образцов колбасок в процессе обезвоживания (рис. 5), что приводит к более плотной структуре продукта. Наблюдаемые различия в прочности образцов в большей степени могут быть связаны с различным содержанием остаточной влаги. Опытные образцы колбасок содержали более низкое количество влаги (табл. 5), поэтому они показывают более высокие значения твердости и усилия резания по сравнению с контролем.

Таблица 6. Структурно-механические показатели образцов рыбных сыровяленых колбасок  
 Table 6. Structural-mechanical properties of samples of dry-cured fish sausages

Показатель	Образец			
	Опытный		Контроль	
	Продолжительность сушки, сут			
	0	5	0	5
Твердость, Н	1,78 ± 0,07	33,91 ± 1,38	1,44 ± 0,06	15,40 ± 1,12
Усилие резания, Н	0,50 ± 0,01	11,55 ± 1,51	0,44 ± 0,02	5,28 ± 1,25

#### Органолептическая оценка и расчет показателя комплексной оценки качества

На *четвертом этапе исследований* проведена органолептическая оценка образцов рыбных сыровяленых колбасок. Органолептические профили образцов рыбных сыровяленых колбас представлены на рис. 6. Приготовленные образцы представляли собой колбаски с чистой и сухой поверхностью. Цветовые характеристики образцов колбасок практически не отличались: на разрезе фарш равномерно перемешан, цвет продукта бежевый с серым оттенком, с включением пряностей. По внешнему виду контрольные и опытные образцы колбасок выглядели практически одинаково. Более высокие оценки за вкус и консистенцию получили контрольные образцы колбасок по сравнению с опытными образцами. Это связано с тем, что опытные образцы колбасок обладали своеобразным кисломолочным оттенком во вкусе и отличались незначительным наличием зон в продукте с рыхлой консистенцией, что, вероятно, связано с более низкими значениями рН (рис. 4) и более низким содержанием влаги по сравнению с контрольным образцом (табл. 5). В свою очередь, контрольный образец колбасок обладал вкусом традиционной вяленой путассу с едва заметным кисловатым привкусом, который больше понравился участникам дегустации. Здесь стоит отметить, что большинство ферментированных рыбных продуктов обладают выраженным кисловатым вкусом и ароматом, который обусловлен образованием в процессе ферментации органических кислот (Cooke et al., 1987). Данные кислоты подвергают лабильные белки мяса денатурации, что в конечном итоге обуславливает специфическую консистенцию мышечной ткани и плохую формуемость рыбных фаршей. Таким образом, дальнейшие

работы должны быть посвящены оптимизации рецептурного состава колбасного фарша и технологии его приготовления, чтобы улучшить вкус и консистенцию готового продукта.

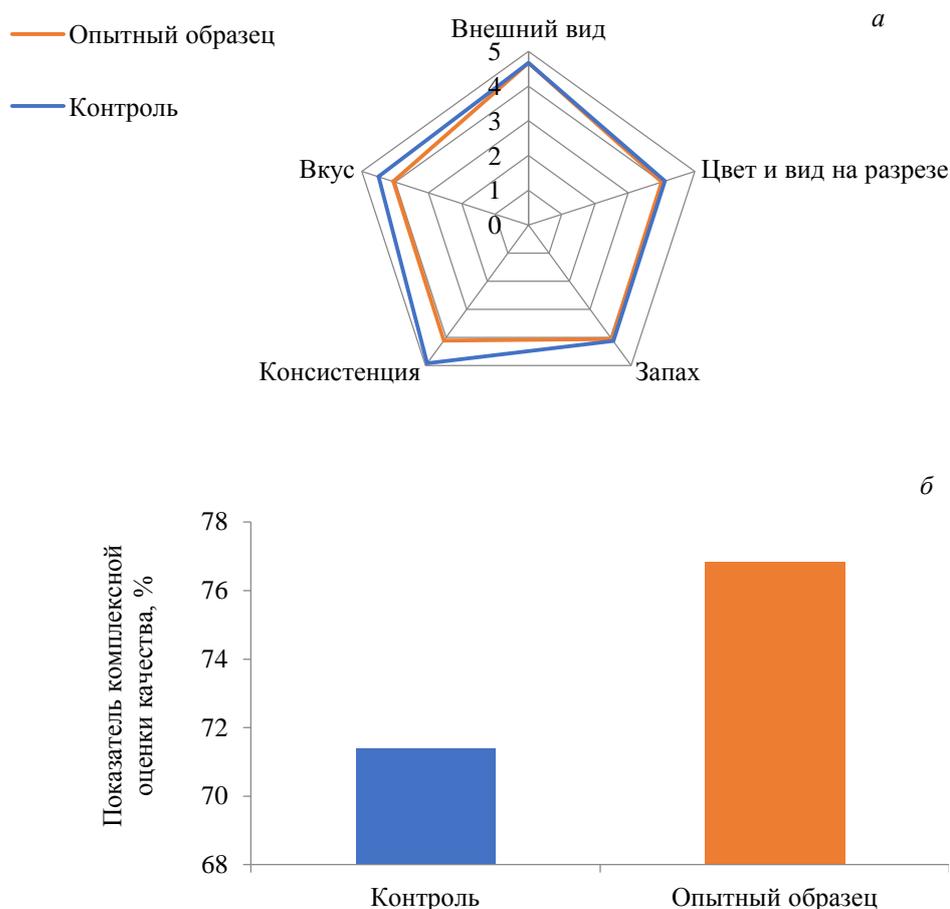


Рис. 6. Органолептический профиль (а) и показатель комплексной оценки качества (б) образцов рыбных сыровяленых колбасок  
 Fig. 6. Organoleptic property (а) and the indicator of comprehensive assessment of the quality of samples of dry-cured fish sausages

Расчет показателя комплексной оценки качества продемонстрировал, что опытный образец колбасок обладал более высокими потребительскими свойствами в сравнении с контрольным образцом (рис. 6). Расчетные значения показателя комплексной оценки качества образцов колбасок (в процентах от максимально возможного уровня) составили: 76,85 % для опытного образца и 71,38 % для контрольного образца.

На основании результатов, полученных при выполнении данных исследований, была разработана и утверждена нормативно-техническая документация (ТУ, ТИ) на данный вид продукции: ТУ 10.85.12-104-00471633-2020 "Колбаски рыбные сыровяленые на основе фарша северной путассу с молочнокислыми бактериями" и ТИ 104-2020 по изготовлению колбасок рыбных сыровяленых на основе фарша северной путассу с молочнокислыми бактериями.

### Заключение

В результате проведенного исследования была определена возможность использования ферментированного рыбного фарша с пробиотическими микроорганизмами *L. plantarum* в качестве основы для приготовления рыбных сыровяленых колбасок. Результаты экспериментов показали, что использование ферментированного рыбного фарша в рецептуре сыровяленых колбасок представляет собой перспективную возможность для усовершенствования технологии производства колбасных изделий с точки зрения безопасности и создания нового способа употребления пробиотиков потребителями. Был разработан пищевой продукт, содержащий значительное количество пробиотиков ( $2,5 \cdot 10^8$  КОЕ/г), что позволяет отнести его к категории обогащенной продукции. Учитывая рекомендуемую суточную потребность, предполагаемый пробиотический эффект может быть достигнут при употреблении 40 г продукта в день. На производство и продукт разработана и утверждена нормативно-техническая документация (ТУ, ТИ).

### Благодарности

Часть работ была выполнена в научно-исследовательской лаборатории "Химия и технология морских биоресурсов", созданной при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-03-2021-088/4 от 29.09.2021).

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Волченко В. И., Николаенко О. А., Шокина Ю. В. Методы исследования рыбы и рыбных продуктов. СПб : Лань, 2020. 148 с.
- Глухарев А. Ю., Демид А. В., Чурилина А. С., Барабашина С. И. [и др.]. Влияние молочнокислых бактерий на качество сыровяленых колбасок из северной путассу: предварительное исследование // Вестник КамчатГТУ. 2021. № 58. С. 29–42. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-58-29-42>. EDN: CJVANQ.
- Ершов А. М., Похольченко В. А., Ершов М. А. Числа подобия в процессах сушки, копчения и обжаривания рыбы // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2015. № 4. С. 3–12. EDN: VCWBZD.
- Журавлева С. В., Бойцова Т. М., Прокопец Ж. Г. Молочнокислые микроорганизмы в технологии продуктов с использованием сырья морского генеза // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю. А. Овчинникова. 2014. Т. 10, № 2. С. 28–31. EDN: SIKVTD.
- Зайчикова Д. С., Макаревич Е. В. Перспективы использования антагонистических свойств молочнокислых бактерий в технологиях переработки водных биологических ресурсов // Известия высших учебных заведений. Арктический регион. 2021. № 1. С. 17–20. EDN: SCGVBP.
- Карамнова Н. С., Шальнова С. А., Деев А. Д., Тарасов В. И. [и др.]. Характер питания взрослого населения по данным эпидемиологического исследования ЭССЕ-РФ // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2018. Т. 17, № 4. С. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2018-4-61-66>. EDN: XYUQNB.
- Ключникова Л. А., Бадмаева И. И. Обоснование технологии функционального продукта "Сосиски рыбные" для детей младшего возраста // Вестник КамчатГТУ. 2022. № 59. С. 24–37. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2022-59-24-37>. EDN: NMSRDF.
- Лукина Е. В., Шокина Ю. В., Антонов П. В., Левшина И.-Е. О. Анализ комплексных изменений при посоле лососевых инъектированием с использованием пищевой добавки PRE-LACKS // Вестник МГТУ. 2022. № 3. С. 183–196. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-3-183-196>. EDN: REIQUX.
- Никифорова А. П. Перспективы производства ферментированных рыбных продуктов с использованием молочнокислых бактерий // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания. 2020. № 2. С. 17–24. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10038. EDN: ZEJAYP.
- Сарбатова Н. Ю., Шебела К. Ю. Особенности технологии производства колбас с добавлением рыбного сырья // Молодой ученый. 2015. № 5.1(85.1). С. 41–43. EDN: TKLEPF.
- Хамагаева И. С., Ханхалаева И. А., Заиграева Л. И. Использование пробиотических культур для производства колбасных изделий. Улан-Удэ : ВСГТУ, 2006. 204 с.
- Champagne C. P., Ross R. P., Saarela M., Hansen K. F. [et al.]. Recommendations for the viability assessment of probiotics as concentrated cultures and in food matrices // International Journal of Food Microbiology. 2011. Vol. 149. P. 185–193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.005>.
- Cooke R. D., Twiddy D. R., Alan Reilly P. J. Lactic-acid fermentation as a low-cost means of food preservation in tropical countries // FEMS Microbiology Reviews. 1987. Vol. 3, Iss. 3. P. 369–379. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1987.tb02473.x>.
- Godfray H. C. J., Aveyard P., Garnett T., Hall J. W. [et al.]. Meat consumption, health, and the environment // Science. 2018. Vol. 361, Iss. 6399. Article number: 5324. DOI: 10.1126/science.aam5324.
- Ranadheera C. S., Vidanarachchi J. K., Rocha R. S., Cruz A. G. [et al.]. Probiotic delivery through fermentation: Dairy vs. non-dairy beverages // Fermentation. 2017. Vol. 3, Iss. 4. Article number: 67. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation3040067>.
- Speranza B., Racioppo A., Beneduce L., Bevilacqua A. [et al.]. Autochthonous lactic acid bacteria with probiotic aptitudes as starter cultures for fish-based products // Food Microbiology. 2017. Vol. 65. P. 244–253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.03.010>.
- Tilami S. K., Sampels S. Nutritional value of fish: Lipids, proteins, vitamins, and minerals // Reviews in Fisheries Science & Aquaculture. 2018. Vol. 26, Iss. 2. P. 243–253. DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1399104>.
- Toldrá F. [et al.]. Handbook of fermented meat and poultry. Wiley-Blackwell, 2014.
- Vuyst L. D., Falony G., Leroy F. Probiotics in fermented sausages // Meat Science. 2008. Vol. 80, Iss. 1. P. 75–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.038>.

## References

- Volchenko, V. I., Nikolaenko, O. A., Shokina, Yu. V. 2020. Research methods for fish and fish products. St. Petersburg. (In Russ.)
- Glukharev, A. Yu., Demid, A. V., Churilina, A. S., Barabashina, S. I. et al. 2021. Effect of lactic acid bacteria on dried sausages quality made from blue whiting: Preliminary study. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 58, pp. 29–42. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2021-58-29-42>. EDN: CJVAHQ. (In Russ.)
- Ershov, A. M., Pokholchenko, V. A., Ershov, M. A. 2015. Numbers of similarity at the processes of fish drying, smoking and frying. *Scientific Journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*, 4, pp. 3–12. EDN: VCWBZD. (In Russ.)
- Zhuravleva, S. V., Boytsova, T. M., Prokopets, J. G. 2014. Lactic acid bacteria in food technology using raw materials of marine origin. *Yu. A. Ovchinnikov Bulletin of Biotechnology and Physical and Chemical Biology*, 10(2), pp. 28–31. EDN: SIKVTD. (In Russ.)
- Zaichikova, D. S., Makarevich, E. V. 2021. Prospects for the use of antagonistic properties of lactic acid bacteria in technologies for processing water biological resources. *Higher Education Newsletter. Arctic Region*, 1, pp. 17–20. EDN: SCGVBP. (In Russ.)
- Karamnova, N. S., Shalnova, S. A., Deev, A. D., Tarasov, V. I. et al. 2018. Nutrition characteristics of adult inhabitants by ESSE-RF study. *Cardiovascular Therapy and Prevention*, 17(4), pp. 61–66. DOI: <https://doi.org/10.15829/1728-8800-2018-4-61-66>. EDN: XYUQHB. (In Russ.)
- Klyuchnikova, L. A., Badmaeva, I. I. 2022. Substantiation of functional product "fish sausages" technology for younger children. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, 59, pp. 24–37. DOI: <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2022-59-24-37>. EDN: NMSRDF. (In Russ.)
- Lukina, E. V., Shokina, Yu. V., Antonov, P. V., Levshina, I.-E. O. 2022. Analysis of complex changes in salmon salting by injection using the food additive PRE-LACKS. *Vestnik of MSTU*, 25(3), pp. 183–196. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2022-25-3-183-196>. EDN: REIQUX. (In Russ.)
- Nikiforova, A. P. 2020. Prospects for the production of fermented fish products using lactic acid bacteria. *Technologies for the Food and Processing Industry of AIC-Healthy Food*, 2, pp. 17–24. DOI: 10.24411/2311-6447-2020-10038. EDN: ZEJAYP. (In Russ.)
- Sarbatova, N. Yu., Shebela, K. Yu. 2015. Features of the production technology of sausages with the addition of fish raw materials. *Molodoi Uchonyi*, 5.1(85.1), pp. 41–43. EDN: TKLEPF. (In Russ.)
- Khamagaeva, I. S., Khankhalaeva, I. A., Zaigraev, L. I. 2006. The use of probiotic cultures for the production of sausages. Ulan-Ude. (In Russ.)
- Champagne, C. P., Ross, R. P., Saarela, M., Hansen, K. F. et al. 2011. Recommendations for the viability assessment of probiotics as concentrated cultures and in food matrices. *International Journal of Food Microbiology*, 149, pp. 185–193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2011.07.005>.
- Cooke, R. D., Twiddy, D. R., Alan Reilly, P. J. 1987. Lactic-acid fermentation as a low-cost means of food preservation in tropical countries. *FEMS Microbiology Reviews*, 3(3), pp. 369–379. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1987.tb02473.x>.
- Godfray, H. C. J., Aveyard, P., Garnett, T., Hall, J. W. et al. 2018. Meat consumption, health, and the environment. *Science*, 361(6399). Article number: 5324. DOI: 10.1126/science.aam5324.
- Ranadheera, C. S., Vidanarachchi, J. K., Rocha, R. S., Cruz, A. G. et al. 2017. Probiotic delivery through fermentation: Dairy vs. non-dairy beverages. *Fermentation*, 3(4). Article number: 67. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation3040067>.
- Speranza, B., Racioppo, A., Beneduce, L., Bevilacqua, A. et al. 2017. Autochthonous lactic acid bacteria with probiotic aptitudes as starter cultures for fish-based products. *Food Microbiology*, 65, pp. 244–253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.03.010>.
- Tilami, S. K., Sampels, S. 2018. Nutritional value of fish: Lipids, proteins, vitamins, and minerals. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 26(2), pp. 243–253. DOI: <https://doi.org/10.1080/23308249.2017.1399104>.
- Toldrá, F. et al. 2014. Handbook of fermented meat and poultry. Wiley-Blackwell.
- Vuyst, L. D., Falony, G., Leroy, F. 2008. Probiotics in fermented sausages. *Meat Science*, 80(1), pp. 75–78. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.05.038>.

## Сведения об авторах

**Глухарев Андрей Юрьевич** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, мл. науч. сотрудник;  
e-mail: [GlukharevAYu@yandex.ru](mailto:GlukharevAYu@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6083-546X>

**Andrei Yu. Glukharev** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Junior Research Fellow; e-mail: [GlukharevAYu@yandex.ru](mailto:GlukharevAYu@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6083-546X>

**Барабашина София Игоревна** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, аспирант;  
e-mail: [BarabashinaSI@yandex.ru](mailto:BarabashinaSI@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3660-3703>

**Sofia I. Barabashina** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
PhD Student; e-mail: [BarabashinaSI@yandex.ru](mailto:BarabashinaSI@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3660-3703>

**Волченко Василий Игоревич** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук, доцент, профессор;  
e-mail: [VolchenkoVI@mstu.edu.ru](mailto:VolchenkoVI@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6454-7919>

**Vasily I. Volchenko** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor; e-mail: [VolchenkoVI@mstu.edu.ru](mailto:VolchenkoVI@mstu.edu.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6454-7919>

**Живлянцева Юлия Вячеславовна** – ул. Фестивальная, 25, г. Мурманск, Россия, 183001;  
Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Мурманской области,  
вед. инженер; e-mail: [youliapetrakova@mail.ru](mailto:youliapetrakova@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4957-297X>

**Julia V. Zhivlyantseva** – 25 Festivalnaya Str., Murmansk, Russia, 183001; State Regional Center  
for Standardization, Metrology and Testing in the Murmansk Region, Advanced Engineer;  
e-mail: [youliapetrakova@mail.ru](mailto:youliapetrakova@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4957-297X>

**Потешкина Виктория Алексеевна** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, инженер; e-mail: [PoteshkinaVA@mstu.edu.ru](mailto:PoteshkinaVA@mstu.edu.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1434-0220>

**Viktoriya A. Poteshkina** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Engineer; e-mail: [PoteshkinaVA@mstu.edu.ru](mailto:PoteshkinaVA@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1434-0220>

**Ускова Инга Владимировна** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, канд. биол. наук, доцент;  
e-mail: [UskovaIV@mstu.edu.ru](mailto:UskovaIV@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3135-8323>

**Inga V. Uskova** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Cand. Sci. (Biology), Associate Professor; e-mail: [UskovaIV@mstu.edu.ru](mailto:UskovaIV@mstu.edu.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3135-8323>

## Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 10444.11-2013 (ISO 15214:1998)	Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества мезофильных молочнокислых микроорганизмов. Введ. 2015-01-01. М. : Стандартинформ, 2014. 15 с.
ГОСТ 27082-2014	Консервы и пресервы из рыбы, водных беспозвоночных, водных млекопитающих и водорослей. Методы определения общей кислотности. Введ. 2016-01-01. М. : Стандартинформ, 2019. 6 с.
ГОСТ 30347-2016	Молоко и молочная продукция. Методы определения <i>Staphylococcus aureus</i> . Введ. 2007-09-01. М. : 2016. 14 с.
ГОСТ 31339-2006	Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб. Введ. 2008-07-01. М. : Стандартинформ, 2010. 12 с.
ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002)	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода <i>Salmonella</i> . Введ. 2013-07-01. М. : Стандартинформ, 2014. 20 с.
ГОСТ 31904-2012	Продукты пищевые. Методы отбора проб для микробиологических испытаний. Введ. 2013-07-01. М. : Стандартинформ, 2014. 6 с.
ГОСТ 32892-2014	Молоко и молочная продукция. Метод измерения активной кислотности. Введ. 2016-01-01. М. : Стандартинформ, 2015. 10 с.
ГОСТ 32901-2014	Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа. Введ. 2016-01-01. М. : Стандартинформ, 2015. 25 с.
ГОСТ 33566-2015	Молоко и молочная продукция. Определение дрожжей и плесневых грибов. Введ. 2016-07-01. М. : Стандартинформ, 2019. 14 с.
ГОСТ 33951-2016	Молоко и молочная продукция. Методы определения молочнокислых микроорганизмов. Введ. 2017-09-01. М. : Стандартинформ, 2016. 10 с.
ГОСТ 34372-2017	Закваски бактериальные для производства молочной продукции. Общие технические условия. Введ. 2018-09-01. М. : Стандартинформ, 2018. 19 с.
ГОСТ 3624-92	Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности. Введ. 1994-01-01. М. : Стандартинформ, 2009. 7 с.
ГОСТ 7631-2008	Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. Введ. 2009-01-01. М. : Стандартинформ, 2011. 12 с.
ГОСТ 7636-85	Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. Введ. 1986-01-01. М. : Стандартинформ, 2010. 86 с.
ТР ЕАЭС 040/2016	О безопасности рыбы и рыбной продукции : Технический регламент Евразийского экономического союза. Введ. 2017-09-01. М. : Совет Евразийской экономической комиссии, 2016. 140 с.
ТИ 104-2020	Технологическая инструкция по изготовлению колбасок рыбных сыровяленых на основе фарша северной путассу с молочнокислыми бактериями. Введ. 2020-12-03. Мурманск : МГТУ, 2020. 20 с.
ТУ 10.85.12-104-00471633-2020	Колбаски рыбные сыровяленые на основе фарша северной путассу с молочнокислыми бактериями. Технические условия. Введ. 2020-12-03. Мурманск : МГТУ, 2020. 12 с.

УДК 664.951.014:639.55:627.8

## Исследование биопотенциала продуктов гидролиза отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei*

О. Я. Мезенова\*, С. В. Агафонова, Н. Ю. Романенко, Н. С. Калинина,  
В. В. Волков, Й-Т. Мерзель

\*Калининградский государственный технический университет, г. Калининград, Россия;  
e-mail: [mezenova@klgtu.ru](mailto:mezenova@klgtu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
29.06.2023;

получена  
после доработки  
20.07.2023;

принята к публикации  
24.07.2023

### Ключевые слова:

гидролиз,  
термогидролиз,  
ферментализ,  
креветочные отходы,  
головотрудь,  
аминокислотный состав,  
жирнокислотный состав

Актуальность исследования биопотенциала креветочных отходов и их гидролизатов обусловлена необходимостью комплексной переработки вторичного сырья гидробионтов с получением полезных продуктов. На рыбоперерабатывающем предприятии ООО "Вичюнай-Русь" (Калининградская обл.) при изготовлении пищевой продукции из креветки белоногой остается до 60 % массы отходов. Это сырье содержит ценные органические компоненты, но не перерабатывается. В работе предложена его комплексная переработка с получением гидролизатов двумя способами – высокотемпературным и ферментативным. При термогидролизе в водной среде из креветочных отходов образуются три фракции (жировая, водорастворимая и водонерастворимая). После разделения водорастворимую фракцию сублимировали, а водонерастворимую высушивали конвекционно. Изучен общий химический состав креветочных отходов и продуктов гидролиза. Показано, что водорастворимые гидролизаты являются хорошим источником протеиновых компонентов (66,6–71,6 %). В сравнительных исследованиях аминокислотного состава водорастворимых гидролизатов установлено наличие всех незаменимых аминокислот при незначительных различиях между образцами. В обоих гидролизатах преобладают аланин, аргинин, глицин, изолейцин, лизин, аспарагиновая кислота, тирозин, валин (3,3–6,4 г/100 г белка). По показателю формольно-титруемого азота в ферментализатах алкалаза более активно ферментирует креветочные отходы, чем коллагеназа. Проанализирован жирнокислотный состав выделенных при термогидролизе липидов. Креветочный жир отличается повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот (44,7 %) при относительно низком содержании кислот семейства омега-3 (10,7 %) и высоким содержанием омега-6 (33,9 %) при их соотношении 1 : 3,2, близком к физиологически рекомендуемому. Исследованы органолептические характеристики водорастворимых и водонерастворимых креветочных гидролизатов. С учетом содержания в гидролизатах ценных биологически активных компонентов рекомендовано их применение в качестве пищевых и кормовых добавок – источников активных пептидов, высокомолекулярных белков, минеральных веществ и хитиновых компонентов.

### Для цитирования

Мезенова О. Я. и др. Исследование биопотенциала продуктов гидролиза отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei*. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 223–231. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-223-231>.

## Investigation of the biopotential of products of hydrolysis of waste from cutting the white-legged shrimp *Penaeus vannamei*

Olga Ya. Mezenova\*, Svetlana V. Agafonova, Natalya Yu. Romanenko,  
Natalya S. Kalinina, Vladimir V. Volkov, Jörg-Thomas Merzel

\*Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia;  
e-mail: [mezenova@klgtu.ru](mailto:mezenova@klgtu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

### Article info

Received 29.06.2023;

received  
in revised form  
20.07.2023;

accepted 24.07.2023

### Abstract

The relevance of studying the biopotential of shrimp waste and their hydrolysates is due to the need for complex processing of secondary raw materials of aquatic organisms to obtain useful products. At the fish processing plant Vichyunai-Rus LLC when manufacturing food products from white-legged shrimp, up to 60 % of the mass of waste (cephalothorax, shell) remains. This raw material contains valuable organic components, but is not processed. The paper proposes its complex processing with the production of hydrolysates in two ways – high-temperature and enzymatic. During thermohydrolysis in the aquatic environment, three fractions are formed from shrimp waste (fatty, water-soluble and water-insoluble). After separation, the water-soluble fraction was sublimated, and the water-insoluble fraction was dried by convection. The fat fraction was further purified by washing in warm water. The general chemical composition of shrimp waste and hydrolysis products has been studied. It has been shown that water-soluble hydrolysates are a good source of protein components (66.6–71.6 %). In comparative studies of the amino acid composition of water-soluble hydrolysates, the presence of all essential amino acids is established with minor differences between the samples. Both hydrolysates are dominated by alanine, arginine, glycine, isoleucine, lysine, aspartic acid, tyrosine, valine (3.3–6.4 g/100 g of protein). In terms of formol-titratable nitrogen in fermentolysates, alkalase ferments shrimp waste more actively than collagenase. The fatty acid composition of lipids isolated by thermohydrolysis from shrimp waste has been analyzed. Shrimp oil is characterized by a high content of polyunsaturated fatty acids (44.7 %) with a relatively low content of omega-3 family acids (10.7 %) and a high content of omega-6 (33.9 %) at a ratio of 1 : 3.2 (close to the physiologically recommended). The organoleptic characteristics of water-soluble and water-insoluble shrimp hydrolysates have been studied. Due to the content of valuable biologically active components in hydrolyzates, their use as food and feed additives – sources of active peptides, high-molecular proteins, minerals and chitinous components – is recommended.

### Key words:

hydrolysis,  
thermohydrolysis,  
fermentolysis,  
shrimp waste,  
cephalothorax,  
amino acid composition,  
fatty acid composition

### For citation

Mezenova, O. Ya. et al. 2023. Investigation of the biopotential of products of hydrolysis of waste from cutting the white-legged shrimp *Penaeus vannamei*. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 223–231. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-223-231>.

## Введение

Пищевая продукция из креветок традиционно пользуется высоким спросом во всех странах мира. Ежегодно в мире вылавливают свыше 3,5 млн т креветок более 2 000 видов, вместе с тем только 35 видов являются промысловыми. В России креветка занимает второе место по вылову всех ракообразных, объем ее добычи составляет 9–12 тыс. т ежегодно, но с учетом спроса его рекомендуется нарастить до 90 тыс. т (Баканев, 2020; Ярочкин и др., 2020). Промысловое значение имеют креветка гребенчатая северная, углохвостая, черноморская, шипастая, шримс-медвежонок и др. В отечественных уловах преобладают северная креветка *Pandalus borealis*. В связи с быстрой потерей качества уловы креветок сразу замораживают после вылова или проваривают с последующим замораживанием и переработкой на береговых предприятиях. При этом идет сортировка сырья, удаляются экземпляры, потерявшие качество (раздавленные, потемневшие и др.). Суммарные выбросы креветочных уловов по причине некондиционности могут превышать 60 % (Ярочкин и др., 2020).

На рыбоперерабатывающих предприятиях при выработке пищевой продукции из мороженых креветок накапливаются многочисленные непищевые части (головагрудь, панцирь). Это сырье отличается высокой активностью ферментов, быстро портится и в основном не перерабатывается. В то же время отходы от разделки креветки содержат уникальные протеиновые и липидные комплексы, углеводы гликоген и хитин, каротиноиды (астаксантин) и минеральные вещества, являются концентратом ценных биологически активных веществ (БАВ), востребованных в кормовых и пищевых продуктах и технологиях (Максимова и др., 2017; Мезенова, 2023).

Технологий переработки некондиционного креветочного сырья и/или отходов креветок немного, в незначительных количествах из них вырабатывают креветочную муку (Ярочкин и др., 2020; Киселева и др., 2019). Специалисты Тихоокеанского филиала Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (ТИНРО) предложили получать из мелких креветок на основе собственного комплекса протеиназ продукты автопротеолиза, названные лизатами, которые по аминокислотному составу белков схожи с говяжьим мясом (Виговская и др., 2016). Разработана технология получения из креветочных отходов пищевой добавки для обогащения продуктов питания (Киселева и др., 2017). Но в реальной практике масштабирования этих технологий нет, и отходы не перерабатываются.

По данным Дальневосточного федерального университета (ДФУ) в отходы от разделки креветки попадает 59–76 % всей массы (головагрудь – 36–49 %, панцирь – 17–23 %, мягкие ткани, икра и ноги – 5–14 %) (Виговская и др., 2016; Киселева и др., 2017). При этом в отходах креветки *Pandalus borealis* находится 8 % мышечных волокон от общей массы креветки. Важно, что мышечная ткань удаляемых отходов превосходит по пищевой ценности брюшные мышцы, в ней содержится около 20 % белка, включающего все незаменимые аминокислоты. По содержанию магния, калия и кальция мягкие ткани отходов не уступают брюшной части (Киселева и др., 2017; Мезенова, 2023).

В Атлантическом филиале Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии (АтланТИНРО) специалисты разработали технологию липидно-каротиноидных пищевых добавок из панциря отходов креветок с использованием ферментных препаратов, предназначенных для обогащения астаксантином различных пищевых продуктов (Самсонов и др., 2017а; 2017б).

В Калининградском государственном техническом университете на кафедре пищевой биотехнологии разработана технология глубокой переработки вторичного сырья гидробионтов (чешуи, костей и голов рыб), крабовых отходов (головагрудь, карапакс, abdomen и др.) на основе высокотемпературного гидролиза и ферментативной обработки (Способ..., 2019). Полученные добавки успешно апробированы в составе пищевых и биологически активных добавок (Мезенова и др., 2014) и комбикормов для рыб в индустриальной аквакультуре (Мезенова и др.; 2021а; 2021б; 2022а; 2022б). Представляется перспективным использование принципов данной технологии (высокотемпературной и ферментативной деструкции) (Мезенова и др., 2018) для переработки креветочных отходов с получением протеинсодержащих и липидных добавок, а также обоснование рациональных направлений их использования.

Целью исследования является получение продуктов переработки отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei* с применением различных методов гидролиза (высокотемпературного и ферментативного), исследование их биопотенциала с рекомендациями по использованию.

## Материалы и методы

В исследованиях использовали отходы от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei* в виде головагруды, предоставленные крупной рыбоперерабатывающей компанией ООО "Вичюнай-Русь" (г. Советск, Калининградская область).

Отходы перерабатывали двумя способами. Первый способ основан на высокотемпературном гидролитическом воздействии измельченного сырья при температуре 130 °С под давлением 1,35 бар в течение 1–3 ч. В результате глубокой деструкции сырья в органической системе происходило образование сложной дисперсии. Центрифугированием смеси при 3 900 об./мин проводили разделение дисперсии с получением трех фракций – жировой (верхней), водорастворимой (средней) и водонерастворимой (осадочной).

При радиусе ротора 12,0 см и скорости его вращения 3 900 об./мин относительное ускорение центрифуги составило 2 200 (в единицах g). Водорастворимую фракцию подвергали сублимационному высушиванию на установке Martin Christ Alpha1-2 LDplus при температуре –55 °С до содержания воды 5–6 %. Водонерастворимую фракцию обезвоживали конвекционно при 70–75 °С в сушильном шкафу ШС-80-02 до содержания воды 10–12 %. Жировую фракцию очищали от посторонних включений промыванием в теплой воде.

Ферментативный гидролиз проводили с применением протеолитических ферментов микробного происхождения – Alcalase 2,5L и коллагеназа при одинаковых дозировках 0,5 % к массе сырья. Предварительно также готовили гомогенизированную смесь измельченного сырья с теплой водой при гидромодуле 1 : 1 и выдерживали ее при температуре 50 °С (Alcalase 2,5L) и 37 (коллагеназа) в течение 6 ч при постоянном перемешивании. Последующую обработку проводили идентично.

Содержание основных органических веществ в сырье и продуктах гидролиза определяли по ГОСТ 7636-85<sup>1</sup> (массовые доли влаги, белка, жира, минеральных веществ, аминного или формольно-титруемого азота). Определение хитина проводили по ГОСТ 7636-85 (п.11.9). Обработку экспериментальных данных осуществляли с применением общепринятых методов математической статистики при доверительной вероятности вывода 95 % с использованием пакетов программ Microsoft Office 2010.

Аминокислотный состав протеинов определяли хроматографическим методом ВЭЖХ/УФ-ФД AT 1200 Series Infinity DAD и 1260 FLD; жирнокислотный состав липидов – методом газовой хроматографии (ГХ/МС) на AT GC/MS 5975. Данные исследования проводили в Научно-исследовательской и консультационной лаборатории UBF (Альтландсберг, Германия).

### Результаты и обсуждение

Общий химический состав (среднее из 5 измерений) креветочных отходов и полученных из них продуктов гидролиза приведен в табл. 1.

Таблица 1. Химический состав креветочных отходов и продуктов его термического и ферментативного гидролиза  
Table 1. Chemical composition of shrimps waste and products of its thermal and enzymatic hydrolysis

Вид сырья	Химический состав, % массы				
	Вода	Углеводы (в т. ч. хитин)	Жир	Минеральные вещества	Протеины
Креветочные отходы (головогрудь), мороженые, невареные	75,3 ± 0,21	1,5 ± 0,12	1,2 ± 0,13	5,9 ± 0,21	18,7 ± 0,23
Продукты термического гидролиза					
Водорастворимая добавка	6,4 ± 0,11	2,1 ± 0,21	0,45 ± 0,11	19,2 ± 1,13	71,6 ± 1,03
Водонерастворимая добавка	11,1 ± 0,12	5,3 ± 0,32	1,5 ± 0,09	41,7 ± 1,68	30,4 ± 0,98
Продукты ферментативного гидролиза с применением Alcalase 2,5L					
Водорастворимая добавка	8,9 ± 0,14	6,2 ± 0,25	1,3 ± 0,11	14,3 ± 1,25	69,3 ± 1,27
Водонерастворимая добавка	12,0 ± 0,12	7,9 ± 0,17	2,4 ± 0,13	39,2 ± 1,12	38,5 ± 1,12
Продукты ферментативного гидролиза с применением коллагеназы					
Водорастворимая добавка	9,7 ± 0,15	6,5 ± 0,26	1,4 ± 0,16	15,8 ± 1,09	66,6 ± 1,76
Водонерастворимая добавка	12,9 ± 0,16	6,7 ± 0,18	2,4 ± 0,22	41,1 ± 1,22	36,9 ± 1,23

Из данных табл. 1 следует, что исследованное сырье содержит большое количество белка (18,7 %) и минеральных веществ (5,9 %) при невысокой жирности (1,2 %), при этом в нем присутствуют углеводы – в форме гликогена и хитина, входящие в состав абдомена и панциря креветки (1,45 %). Полученные данные позволяют считать данное сырье перспективным для получения гидролизатов и соответствующих добавок на их основе (Ярочкин и др., 2020; Максимова и др., 2017; Мезенова, 2023; Киселева и др., 2019; Виговская и др., 2016; Киселева и др., 2017).

При переработке его гидролизным методом с последующим фракционированием и сушкой образующихся фракций в полученных продуктах (водорастворимые добавки) содержание протеинов, соответственно, увеличивается до 71,6 % (при термогидролизе) и 66,6–69,3 % (при ферментализе), уровень минерализации во всех случаях – высокий (14,3–19,2 %). В состав образующихся добавок также входят углеводно-хитиновые композиции (2,1–6,5 %) и небольшое количество липидов (0,45–1,4 %).

Менее богаты протеиновыми компонентами образующиеся при гидролизе водонерастворимые добавки, при этом термогидролизный способ позволяет получать осадочные фракции с меньшим содержанием

<sup>1</sup> ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М., 2010.

белка (30,4 %), чем ферментативный гидролиз (36,9–38,5 %). Данные продукты также характеризуются высоким содержанием минеральных веществ (39,2–41,7 %) и углеводно-хитиновых компонентов (5,3–7,7 %).

Об эффективности ферментативной обработки судили по содержанию сухих веществ и накоплению низкомолекулярного аминного азота (формольно-титруемый азот – ФТА) в водорастворимых гидролизатах (табл. 2). Видно, что для получения более глубокого уровня гидролиза протеинов сырья рациональнее применять фермент Alcalase 2,5L, так как показатель ФТА (501,7 мг/100 г) в 1,4 раза превышает соответствующее значение количества аминного азота в гидролизате, полученном с применением коллагеназы (362,0 мг/100 г).

Таблица 2. Результаты оценки глубины ферментализации креветочных отходов разными ферментами  
Table 2. Results of assessing the depth of fermentolysis of shrimps waste by different enzymes

Вид ферментного препарата	Количество ферментного препарата, % к массе сырья	Продолжительность гидролиза, ч	Температура гидролиза, °С	Масса водорастворимого гидролизата, г	Масса водонерастворимого плотного остатка, г	Содержание сухих веществ в гидролизате, %	Значение ФТА в гидролизате, мг/100 г
Alcalase 2,5L	0,5	2	55	201,5	98,5	8,8	501,7
Коллагеназа	0,5	2	37	194,5	105,5	8,3	362,0

О биологической ценности водорастворимых фракций креветочных гидролизатов, полученных различными способами, судили по аминокислотному составу протеинов (табл. 3).

Таблица 3. Аминокислотный состав водорастворимых гидролизатов, полученных высокотемпературным термолизом и ферментализацией креветочных отходов различными ферментами

Table 3. Amino acid composition of water-soluble hydrolysates obtained by high-temperature thermolysis and fermentolysis of shrimp waste by various enzymes

№ п/п	Аминокислота	Содержание в гидролизате, г/100 г, полученном		
		высокотемпературным термолизом	ферментализацией с коллагеназой	ферментализацией с Alcalase 2,5L
1	Аланин	6,4	5,8	5,7
2	Аргинин	5,4	6,6	6,5
3	Аспарагин	0,3	2,5	2,6
4	Аспарагиновая кислота	3,2	4,0	4,6
5	Карнозин	< 0,1	0,1	0,1
6	Цитрулин	0,1	–	0,3
7	Цистин	< 0,1	0,3	1,9
8	Глутамин	< 0,1	2,6	4,3
9	Глутаминовая кислота	2,5	5,3	4,8
10	Глицин	5,7	4,3	4,1
11	Гистидин	0,8	1,7	12,0
12	Гидроксипролин	< 0,1	0,1	0,1
13	Изолейцин	4,3	4,3	4,8
14	Лейцин	4,0	3,9	2,7
15	Лизин	4,5	6,1	5,8
16	Метионин	2,0	2,4	2,3
17	Орнитин	0,1	0,7	0,4
18	Фенилаланин	3,1	4,3	4,1
19	Пролин	2,7	3,4	2,9
20	Серин	2,8	2,5	2,3
21	Таурин	5,3	1,5	1,6
22	Треонин	2,4	3,0	3,0
23	Триптофан	0,4	0,9	0,9
24	Тирозин	3,3	4,2	4,1
25	Валин	3,7	3,7	3,6

Анализ полученных данных (табл. 3) показывает близость аминокислотного состава гидролизатов различных способов получения по количественному и качественному составу аминокислот, при этом во всех образцах присутствуют практически все незаменимые аминокислоты, в том числе ценный лизин (4,5–6,1 г/100 г) при незначительном содержании триптофана (0,4–0,9 г/100 г). Преобладают аминокислоты аланин, аргинин, глицин, изолейцин, лизин, аспарагиновая кислота, тирозин, валин, причем их содержание установлено примерно на одинаковом уровне (3,3–6,4 г/100 г белка). Повышенное количество глицина (4,1–5,7 г/100 г) и пролина (1,8–2,7 г/100 г) свидетельствует о присутствии в сырье коллагеновых тканей, в составе которых преобладают данные аминокислоты. Установлено минимальное содержание гидроксипролина (0,1 г/100 г и менее), характерного для рыбного коллагена, что свидетельствует о разном строении коллагеновых белков рыб и креветочного сырья.

При исследовании биопотенциала креветочного жира, выделенного при термогидролизе сырья, следует отметить его специфические органолептические характеристики. Жир имел характерный "креветочный" запах, без порочащих признаков и неприятных оттенков, розовато-оранжевый цвет, был непрозрачным. Анализ жирно-кислотного состава жира показал его высокую биологическую ценность по содержанию эссенциальных высоконепредельных жирных кислот (табл. 4).

Таблица 4. Жирнокислотный состав жира, выделенного из креветочных отходов  
 Table 4. Fatty acid composition of fat isolated from shrimp waste

№ п/п	Жирная кислота	Содержание в креветочном жире, % массы жира
1	14:0 Миристиновая	1,1
2	15:0 Пентадекановая	0,5
3	16:0 Пальмитиновая	17,8
4	16:1 n7 Пальмитолеиновая	2,7
5	17:0 Маргариновая	0,9
6	17:1 Маргаринолеиновая	0,5
7	18:0 Стеариновая	3,4
8	cis 18:1 ω9 tr Элаидиновая	–
9	cis 18:1 ω9 Олеиновая	21,9
10	cis 18:1 ω7 Вакценовая	3,5
11	tr 18:2 ω6 Октадекадиеновая	–
12	cis 18:2 ω6 Линолевая	28,5
13	cis 18:3 ω6 Гамма-линоленовая	1,2
14	cis 20:0 Арахидиновая	0,3
15	cis 18:3 ω3 Альфа-линоленовая	2,3
16	cis 20:1 ω9 Гондоиновая	1,5
17	cis 20:2 ω6 Эйкозодиеновая	2,8
18	cis 20:3 ω3 Эйкозатриеновая	1,1
19	cis 22:0 Бегеновая	0,5
20	cis 20:4 ω6 Арахидононовая	1,4
21	cis 20:5 ω3 Эйкозапентаеновая (ЭПК)	3,8
22	24:0 Лигноцериновая	0,2
23	cis 24:1 ω9 Нервоновая	0,2
24	cis 22:5 ω3 Докозапентаеновая	0,5
25	cis 22:6 ω3 Докозагексаеновая (ДГК)	3,0
26	Сумма	100,0
27	Сумма НЖК	24,7
28	Сумма МНЖК	30,3
29	Сумма ПНЖК	44,7
30	Сумма ω6	33,9
31	Сумма Trans ЖК	0,2
32	Сумма ω3 ЖК	10,7

Из данных табл. 4 следует, что креветочный жир отличается повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК – 44,7 %) при относительно низком содержании жирных кислот (ЖК) семейства омега-3 (10,7 %) и высоком содержании ЖК омега-6 (33,9 %). Содержание насыщенных ЖК (НЖК) составляет 24,73 % (в том числе пальмитиновой 17,8 %), мононенасыщенных ЖК (МНЖК) 30,3 %, в том числе олеиновой (21,9 %). Следует отметить, что основная доля ПНЖК в креветочном жире принадлежит линолевой жирной кислоте (28,5 %). По соотношению ЖК омега-6 к омега-3, как 3,2 : 1 данный

жир близок к рекомендуемому для мужчин и женщин в МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ"<sup>2</sup> (4–5 : 1).

Однако показатели гидролитической порчи данного жира не позволяют его рекомендовать к пищевому использованию: значение кислотного числа (КЧ) равно 12,3 мг КОН/г жира (норма для пищевого рыбного жира – не более 4,0 мг КОН/г жира), при этом по перекисному числу данный жир не превышает регламентированного значения (ПЧ равно 1,9 ммоль акт.кислорода /кг при норме – не более 10 ммоль акт.кислорода /кг).

Вопрос безопасности креветочного жира для пищевого использования требует специального изучения, поскольку Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции"<sup>3</sup> распространяется только на рыбные жиры.

Исследованы органолептические характеристики водорастворимых и водонерастворимых креветочных гидролизатов. Они имеют порошкообразную структуру, легкую сыпучесть, светло-розовый цвет, специфические "креветочные" запах и вкус, свойственный продуктам глубокого гидролиза вторичного сырья гидробийонтов. Водорастворимая добавка имеет слабую горчинку во вкусе, присущую низкомолекулярным пептидам морского происхождения (*Kim et al., 2012*). С учетом высокой биологической активности низкомолекулярных продуктов гидролиза (коротких пептидов) (*Тутельян и др., 2014; Гришин и др., 2017*), а также повышенного содержания в гидролизатах ценных компонентов (*Максимова и др., 2017*), рекомендовано их применение в качестве пищевых добавок – источников низкомолекулярных активных пептидов (водорастворимая добавка), высокомолекулярных белков, минеральных веществ и хитиновых компонентов (водонерастворимая добавка). Принимая во внимание высокое содержание протеиновых веществ, обе добавки рекомендуется вводить в качестве кормовых компонентов в состав комбикормов для животных, птиц и рыб в индустриальной аквакультуре (*Мезенова и др., 2022a; 2022б*). Жировую фракцию, получаемую из креветочных отходов, с учетом высокого содержания полиненасыщенных жирных кислот и показателей гидролитических и окислительных изменений также целесообразно вводить в состав различных кормовых продуктов.

Для окончательных выводов по пищевому и кормовому использованию полученных продуктов гидролиза креветочных отходов требуется подтверждение их безопасности в специальных испытаниях.

## Заключение

В результате проведенных исследований:

- показана рациональность переработки отходов от разделки креветки белоногой *Penaeus vannamei* методом глубокого гидролиза с применением высокотемпературного и ферментативного способов и получением водорастворимой и водонерастворимой фракций в форме высушенных добавок;

- установлен химический состав креветочных отходов и продуктов их гидролиза. Показано высокое содержание белка в сырье (18,7 %). Высушенные водорастворимые продукты гидролиза содержат протеинов соответственно 71,6 % (термогидролиз) и 66,3–69,1 % (ферментализ). Более эффективно ферментативный гидролиз проходит при использовании фермента Alcalase 2,5L, чем коллагеназы;

- определен общий химический состав водонерастворимых продуктов гидролиза креветочных отходов. Термогидролизный способ позволяет получать сушеные добавки с содержанием белка 30,4 %, а ферментативный гидролиз – 36,9–38,5 % при содержании минеральных веществ 39,2–41,7 % и углеводно-хитиновых компонентов 5,3–7,7 %;

- исследован жирнокислотный состав креветочного жира, показавший повышенное содержание полиненасыщенных жирных кислот (44,7 %), прежде всего, олеиновой (21,9 %), в том числе высокое содержание кислот омега-6 (33,9 %). Содержание насыщенных жирных кислот составляет 24,73 % (включая пальмитиновую – 17,8 %), мононенасыщенных жирных кислот – 30,3 %. По соотношению жирных кислот омега-6 к омега-3, как 3,2 : 1, данный жир близок к рекомендуемому для положительного физиологического эффекта в питании человека (4–5 : 1);

- с учетом содержания в гидролизатах ценных биологически активных компонентов рекомендовано их применение в качестве пищевых и кормовых добавок.

## Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания по теме "Получение биологически активных веществ из побочных и недоэксплуатированных водных биологических ресурсов для рыбоводных и технических целей" (приказ Федерального агентства по рыболовству № 462 от 30 декабря 2022 г.).

<sup>2</sup> МР 2.3.1.0253-21.2.3.1. Гигиена. Гигиена питания. Рациональное питание. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации : утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 22.07.2021. URL: <https://bazanpa.ru/rosпотреbnadzor-metodicheskie-rekomendatsii-ot22072021-h5312421/?ysclid=lktd6lvd3s503824804>.

<sup>3</sup> Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции" (с изменениями на 25 ноября 2022 года). URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560?ysclid=lktdbnf9t3339439792>.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Баканев С. В. Современные проблемы оценки запаса северной креветки в Баренцевом море // Вопросы рыболовства. 2020. Т. 21, № 2. С. 218–234. EDN: OIRGTD.
- Виговская И. М., Баштовой А. Н., Тимчишина Г. Н. [и др.]. Автопротеолизаты из креветок и их использование // Инновации в биотехнологии аквакультуры и водных биоресурсов Японского моря : материалы междунар. науч. конф., 07–12 июня 2016 г. Владивосток, 2016. С. 67–72.
- Гришин Д. В., Подобед О. В., Гладилина Ю. А., Покровская М. В. [и др.]. Биоактивные белки и пептиды: современное состояние и новые тенденции практического применения в пищевой промышленности и кормопроизводстве // Вопросы питания. 2017. Т. 86, № 3. С. 19–31. EDN: ZFQEYZ.
- Киселева М. В., Табакаева О. В., Каленик Т. К., Киселев А. Ю. [и др.]. Процесс получения ферментативных гидролизатов из отходов переработки креветки северной // Техника и технология пищевых производств. 2019. Т. 49, № 4. С. 635–642. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-635-642>. EDN: GTVBZJ.
- Киселева М. В., Табакаева О. В., Татаренко Г. С., Комлев С. А. Исследование возможности применения отходов креветки северной *Pandalus borealis* для обогащения продуктов питания // Пищевая промышленность. 2017. № 1. С. 20–24. EDN: XXVJKN.
- Максимова С. Н., Сафронова Т. М., Полещук Д. В. Хитиновые материалы в технологии водных биоресурсов. СПб. : Лань, 2017. 176 с.
- Мезенова Н. Ю., Байдалинова Л. С., Мезенова О. Я., Moersel J.-T. [и др.]. Активные пептиды рыбной чешуи в гейнерах для спортивного питания // Вестник Международной академии холода. 2014. № 2. С. 47–52. EDN: SQJOFH.
- Мезенова О. Я. Биопотенциал вторичного хитинсодержащего сырья и рациональные направления его использования // Известия КГТУ. 2023. № 69. С. 74–88. DOI: <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-69-74-88>. EDN: JGMSGs.
- Мезенова О. Я., Волков В. В., Мерзель Т., Гримм Т. [и др.]. Сравнительная оценка способов гидролиза коллагенсодержащего рыбного сырья при получении пептидов и исследование их аминокислотной сбалансированности // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Т. 8, № 4. С. 83–94. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-4-83-94>. EDN: YTDWFF.
- Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю. [и др.]. Проектирование сбалансированных кормов для индустриальной аквакультуры с применением протеиновых гидролизатов побочного рыбного сырья // Рыбное хозяйство. 2021а. № 4. С. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-4-81-88>. EDN: СНУVXX.
- Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю. [и др.]. Применение продуктов гидролиза шпротных отходов при кормлении европейского сига *Coregonus lavaretus* в аквакультуре // Рыбное хозяйство. 2022а. № 3. С. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-3-54-61>. EDN: BRKKTN.
- Мезенова О. Я., Пьянов Д. С., Агафонова С. В., Романенко Н. Ю. [и др.]. Оценка питательной ценности комбикормов для лососевых с добавлением продуктов гидролиза шпротных отходов // Известия КГТУ. 2022б. № 67. С. 32–47.
- Мезенова О. Я., Тишлер Д., Агафонова С. В., Мезенова Н. Ю. [и др.]. Применение пептидных и липидных композиций, получаемых при гидролизной переработке коллагенсодержащих тканей // Вестник Международной академии холода. 2021б. № 1. С. 46–58. DOI: <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-46-58>. EDN: NIPMVG.
- Самсонов М. В., Винокур М. Л., Андреев М. П. Исследование процесса гидролиза панцирных отходов вареной креветки с использованием протосубтилина // Известия КГТУ. 2017а. № 46. С. 90–99. EDN: ZCICNT.
- Самсонов М. В., Винокур М. Л., Андреев М. П. Сравнительный анализ выделения астаксантина из панцирных отходов креветки с использованием ферментных препаратов трипсина, химотрипсина и протосубтилина // Известия КГТУ. 2017б. № 44. С. 150–156. EDN: ХТСWOJ.
- Способ получения пищевых добавок из вторичного рыбного сырья с применением гидролиза: пат. 2681352 Рос. Федерация / Агафонова С. В., Байдалинова Л. С., Волков В. В., Городниченко Л. В. № 2018103795 ; заявл. 31.01.2018 ; опубл. 06.03.2019. Бюл. № 7.
- Тутельян В. А., Хавинсон В. Х., Рыжак Г. А., Линькова Н. С. Короткие пептиды как компоненты питания: молекулярные основы регуляции гомеостаза // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134, № 3. С. 227–235. EDN: SGZRUD.
- Ярочкин А. П., Тимчишина Г. Н., Акулин В. Н., Баштовой А. Н. [и др.]. Биотехнология переработки мелких креветок для использования в пищевых продуктах // Известия ТИНРО. 2020. Т. 200, вып. 2. С. 460–485. DOI: <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2020-200-460-485>. EDN: QCUUOT.
- Kim S.-K., Ngo D.-H., Vo T.-S. Marine fish-derived bioactive peptides as potential antihypertensive agents // Advances in Food and Nutrition Research. 2012. Vol. 65. P. 249–260. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416003-3.00016-0>.

## References

- Bakanev, S. V. 2020. Modern problems of assessing the stock of the northern shrimp in the Barents Sea. *Problems of Fisheries*, 21(2), pp. 218–234. EDN: OIRGTD. (In Russ.)
- Vigovskaya, I. M., Bashtova, A. N., Timchishina, G. N. et al. 2016. Autoproteolysates from shrimp and their use. Proceedings of the Intern. Scien. Conf. *Innovations in Biotechnology of Aquaculture and Aquatic Bioresources of the Sea of Japan*, 07–12 June, 2016. Vladivostok, pp. 67–72. (In Russ.)
- Grishin, D. V., Podobed, O. V., Gladilina, Yu. A., Pokrovskaya, M. V. et al. 2017. Bioactive proteins and peptides: Current state and new trends in practical application in the food industry and fodder production. *Problems of Nutrition*, 86(3), pp. 19–31. EDN: ZFQEYZ. (In Russ.)
- Kiseleva, M. V., Tabakaeva, O. V., Kalenik, T. K., Kiselev, A. Yu. et al. 2019. The process of obtaining enzymatic hydrolysates from northern shrimp processing waste. *Tekhnika I Tekhnologiya Pishchevykh Proizvodstv*, 49(4), pp. 635–642. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-635-642>. EDN: GTVBZJ. (In Russ.)
- Kiseleva, M. V., Tabakaeva, O. V., Tatarenko, G. S., Komlev, S. A. 2017. Research on the possibility of using waste from the northern shrimp *Pandalus borealis* for food enrichment. *Food Industry*, 1, pp. 20–24. EDN: XXBJKN. (In Russ.)
- Maksimova, S. N., Safronova, T. M., Poleshchuk, D. V. 2017. Chitin materials in the technology of aquatic bioresources. St. Petersburg. (In Russ.)
- Mezenova, N. Yu., Baidalinova, L. S., Mezenova, O. Ya., Moersel, J.-T. et al. 2014. Active fish scale peptides in sports nutrition gainers. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 2, pp. 47–52. EDN: SQJOFH. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya. 2023. Biopotential of secondary chitin-containing raw materials and rational directions of its use. *KSTU News*, 69, pp. 74–88. DOI: <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2023-69-74-88>. EDN: JGMSGG. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Volkov, V. V., Merzel, T., Grimm, T. et al. 2018. Comparative evaluation of the methods of hydrolysis of collagen-containing fish raw materials in the production of proteins and the study of their amino acid balance. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya*, 8(4), pp. 83–94. DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-4-83-94>. EDN: YTDWFF. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Pyanov, D. S., Agafonova, S. V., Mezenova, N. Yu. et al. 2021a. Designing balanced feed for industrial aquaculture using protein hydrolysates of by-product fish raw materials. *Fisheries*, 4, pp. 81–88. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-4-81-88>. EDN: CHYVXX. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Pyanov, D. S., Agafonova, S. V., Romanenko, N. Yu. et al. 2022a. Application of hydrolysis products of sprat waste when feeding the European whitefish *Coregonus lavaretus* in aquaculture. *Fisheries*, 3, pp. 54–61. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-3-54-61>. EDN: BRKKTN. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Pyanov, D. S., Agafonova, S. V., Romanenko, N. Yu. et al. 2022b. Evaluation of the nutritional value of mixed feed for salmon with the addition of sprat waste hydrolysis products. *KSTU News*, 67, pp. 32–47. (In Russ.)
- Mezenova, O. Ya., Tishler, D., Agafonova, S. V., Mezenova, N. Yu. et al. 2021b. The use of peptide and lipid compositions obtained by hydrolysis processing of collagen-containing tissues. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 1, pp. 46–58. DOI: <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-46-58>. EDN: NIPMVG. (In Russ.)
- Samsonov, M. V., Vinokur, M. L., Andreev, M. P. 2017a. Study of the process of hydrolysis of shell waste of boiled shrimp using protosubtilin. *KSTU News*, 46, pp. 90–99. EDN: ZCICNT. (In Russ.)
- Samsonov, M. V., Vinokur, M. L., Andreev, M. P. 2017b. Comparative analysis of the isolation of astaxanthin from crustacean shell waste using enzyme preparations trypsin, chymotrypsin, protosubtilin. *KSTU News*, 44, pp. 150–156. EDN: XTCWOJ. (In Russ.)
- Agafonova, S. V., Baydalinova, L. S., Volkov, V. V., Gorodnichenko, L. V. 2018. Method for obtaining food additives from secondary fish raw materials using hydrolysis, Russian Federation, Pat. 2681352. (In Russ.)
- Tutelyan, V. A., Khavinson, V. Kh., Ryzhak, G. A., Linkova, N. S. 2014. Short peptides as nutritional components: Molecular basis of homeostasis regulation. *Uspekhi Sovremennoi Biologii*, 134(3), pp. 227–235. EDN: SGZRUD. (In Russ.)
- Yarochkin, A. P., Timchishina, G. N., Akulin, V. N., Bashtovoi, A. N. et al. 2020. Biotechnology for processing small shrimp for use in food products. *Izvestiya TINRO*, 200(2), pp. 460–485. DOI: <https://doi.org/10.26428/1606-9919-2020-200-460-485>. EDN: QCUUOT. (In Russ.)
- Kim, S.-K., Ngo, D.-H., Vo, T.-S. 2012. Marine fish-derived bioactive peptides as potential antihypertensive agents. *Advances in Food and Nutrition Research*, 65, pp. 249–260. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-416003-3.00016-0>.

### Сведения об авторах

**Мезенова Ольга Яковлевна** – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;  
Калининградский государственный технический университет, д-р техн. наук, профессор;  
e-mail: [mezenova@klgtu.ru](mailto:mezenova@klgtu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

**Olga Ya. Mezenova** – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical University,  
Dr. Sci. (Engineering), Professor; e-mail: [mezenova@klgtu.ru](mailto:mezenova@klgtu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4716-2571>

**Агафонова Светлана Викторовна** – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;  
Калининградский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;  
e-mail: [svetlana.agafonova@klgtu.ru](mailto:svetlana.agafonova@klgtu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5992-414X>

**Svetlana V. Agafonova** – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical  
University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: [svetlana.agafonova@klgtu.ru](mailto:svetlana.agafonova@klgtu.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5992-414X>

**Романенко Наталья Юрьевна** – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;  
Калининградский государственный технический университет, канд. техн. наук, доцент;  
e-mail: [nataliya.mezenova@klgtu.ru](mailto:nataliya.mezenova@klgtu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7433-7189>

**Natalya Yu. Romanenko** – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical  
University, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: [nataliya.mezenova@klgtu.ru](mailto:nataliya.mezenova@klgtu.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7433-7189>

**Калинина Наталья Сергеевна** – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;  
Калининградский государственный технический университет; e-mail: [natalya.kalinina@klgtu.ru](mailto:natalya.kalinina@klgtu.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0942-5411>

**Natalya S. Kalinina** – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical University;  
e-mail: [natalya.kalinina@klgtu.ru](mailto:natalya.kalinina@klgtu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0942-5411>

**Волков Владимир Владимирович** – Советский пр., 1, г. Калининград, Россия, 236022;  
Калининградский государственный технический университет, Центр белка кафедры пищевой  
биотехнологии; e-mail: [vladimir.volkov@klgtu.ru](mailto:vladimir.volkov@klgtu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5560-7131>

**Vladimir V. Volkov** – 1 Sovetskiy Ave., Kaliningrad, Russia, 236022; Kaliningrad State Technical  
University, Protein Center of the Food Biotechnology Department;  
e-mail: [vladimir.volkov@klgtu.ru](mailto:vladimir.volkov@klgtu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5560-7131>

**Йорг-Томас Мерзель** – 1, Ан дер Мюле, Альтландсберг, 15345, Германия;  
Научно-исследовательская и консультационная лаборатория UBF GmbH, Альтландсберг, д-р хим. наук,  
профессор; e-mail: [thomas.moersel@ubf-research.com](mailto:thomas.moersel@ubf-research.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5760-1144>

**Jörg-Thomas Mörsel** – 1 An der Mühle, Altlandsberg, 15345, Germany, UBF-Untersuchungs-, Beratungs-,  
Forschungslaboratorium GmbH; Altlandsberg, Germany, Dr. Sci. (Natural Sciences), Professor;  
e-mail: [thomas.moersel@ubf-research.com](mailto:thomas.moersel@ubf-research.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5760-1144>

УДК 636.03

## Прогнозирование антимикробной активности пищевого пептида и оценка его эффективности *in vitro*

Н. В. Мерзлякова, С. Л. Тихонов\*, Н. В. Тихонова, И. Г. Пестова, Е. П. Кулагова

\*Уральский государственный аграрный университет, г. Екатеринбург, Россия;

e-mail: tihonov75@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
28.06.2023;

получена  
после доработки  
22.08.2023;

принята  
к публикации  
28.08.2023

Ключевые слова:

антимикробный пептид,  
структура,  
заряд,  
аминокислотная  
последовательность,  
молекулярная масса

Пищевые антимикробные пептиды (АМП) актуальны при лечении бактериальных инфекций и имеют ряд преимуществ в сравнении с лекарственными средствами: более медленное возникновение резистентности у штаммов бактерий, высокая активность в отношении антибиотикопленки и иммуномодулирующие свойства. К физико-химическим свойствам, обуславливающим антимикробные свойства, относятся: катионный заряд, гидрофобность, молекулярная масса и аминокислотная последовательность. Перспективным источником АМП являются молочные белки, в частности, белки молозива коров. Цель работы – выделение из пепсинового гидролизата молозива коров пептида, прогнозирование его антимикробной активности с использованием биоинформационного подхода и подтверждение его эффективности *in vitro*. Молекулярно-массовое распределение пептида оценивали масс-спектрометрическим методом. Микросеквенирование осуществляли с использованием секвенатора MiSeq. Моделирование пространственной структуры выделенного пептида – с помощью программы молекулярного моделирования Schrodinger Maestro. Антимикробную активность пептида изучали диско-диффузионным методом на грамположительных и грамотрицательных бактериях. Из пепсинового гидролизата молозива коров выделен пептид, который отсутствует в известных протеомных базах Protein NCBI и AVPdb и, соответственно, биологическая активность и функции его не исследованы. Полученный пептид относится к линейным альфа-спиральным пептидам, состоит из 11 аминокислот ANRKLRLANKSR, молекулярная масса – 8,2 кДа, изоэлектрическая точка на уровне 12,79, заряд +5 (катионный), гидрофильность (гидрофобность) +20,84 Ккал\*моль<sup>-1</sup>. В результате исследований *in vitro* установлено, что выделенный пептид обладает антимикробной активностью в отношении *E. coli* ATCC 25922 и *B. subtilis* и противогрибковым действием к *C. albicans*.

Для цитирования

Мерзлякова Н. В. и др. Прогнозирование антимикробной активности пищевого пептида и оценка его эффективности *in vitro*. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 232–241. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-232-241>.

## Prediction of antimicrobial activity of a food peptide and evaluation of its effectiveness *in vitro*

Natalia V. Merzlyakova, Sergey L. Tikhonov\*, Natalia V. Tikhonova,

Inga G. Pestova, Ekaterina P. Kulagova

\*Ural State Agrarian University, Yekaterinburg, Russia;

e-mail: tihonov75@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

Article info

Received  
28.06.2023;

received  
in revised form  
22.08.2023;

accepted  
28.08.2023

Key words:

antimicrobial peptide,  
structure,  
charge,  
amino acid sequence,  
molecular weight

Abstract

Food antimicrobial peptides are increasingly relevant in the treatment of bacterial infections and have a number of advantages in comparison with drugs: slower emergence of resistance in bacterial strains, high activity against antibiotic films and immunomodulatory properties. The physico-chemical properties causing antimicrobial properties include: cationic charge, hydrophobicity, molecular weight and amino acid sequence. Promising sources of antimicrobial peptides are milk proteins, in particular, cow colostrum proteins. The aim of the work is to extract a peptide from the pepsin hydrolysate of cow colostrum, predict its antimicrobial activity using a bioinformatic approach and confirm its effectiveness *in vitro*. The molecular mass distribution of the peptide was evaluated by mass spectrometric method. The analysis of mass spectra was carried out using the Mascot program, the Peptide Fingerprint option – using the Protein NCBI database. Microsequencing was performed using a MiSeq sequencer. Modeling of the spatial structure of the isolated peptide was carried out using the Schrodinger Maestro molecular modeling program. The antimicrobial activity of the peptide was studied by the disco-diffusion method on gram-positive and gram-negative bacteria. The peptide has been isolated from the pepsin hydrolysate of cow colostrum, which is absent in the known proteomic bases Protein NCBI and AVPdb and, accordingly, its biological activity and functions have not been studied. The resulting peptide belongs to linear alpha-helical peptides consists of 11 amino acid sequences ANRKLRLANKSR with a molecular weight of 8.2 kDa, an isoelectric point at 12.79, a charge of +5 (cationic), hydrophilicity (hydrophobicity) +20.84 Kcal\*mol<sup>-1</sup>. As a result of *in vitro* studies, it was found that the isolated peptide has antimicrobial activity against *E. coli* ATCC 25922 and *B. subtilis* and antimicrobial action against *C. albicans*.

For citation

Merzlyakova, N. V. et al. 2023. Prediction of antimicrobial activity of a food peptide and evaluation of its effectiveness *in vitro*. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 232–241. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-232-241>.

## Введение

Пищевые антимикробные пептиды (АМП) становятся более актуальными при лечении бактериальных инфекций и имеют ряд преимуществ в сравнении с лекарственными средствами: медленное возникновение резистентности у штаммов бактерий, высокая активность в отношении антибиотикопленки и иммуномодулирующие свойства. Поскольку АМП имеют белковую природу, их можно относительно легко спроектировать и синтезировать. В качестве недостатка использования АМП следует отметить низкую стабильность к действию протеолитических ферментов желудочно-кишечного тракта (*Magana et al., 2020*).

Антимикробная активность пептидов связана с физико-химическими свойствами, в частности, катионным зарядом и гидрофобностью (*Lee et al., 2018*). Положительный заряд улучшает взаимодействие с отрицательно заряженной поверхностью клетки, а высокая гидрофобность позволяет пептидам проходить сквозь мембраны бактериальных клеток. Важным фактором, влияющим на антимикробную активность пептидов, является аминокислотная последовательность (*Porto et al., 2018*).

Целесообразно кратко рассмотреть механизм действия АМП, который по данным (*Silva et al., 2017*) заключается в следующем:

- разрушение бактериальной мембраны с образованием пор или с помощью электропорации;
- взаимодействие с бактериальными компонентами и индукция гибели клеток;
- ингибирование биосинтеза клеточной стенки.

Следует отметить, что АМП эффективно действуют в комбинации с другими лекарственными средствами (*Magana et al., 2020; Gaglione et al., 2020; Mehta et al., 2022*).

Для прогнозирования биологической активности пептидов, в том числе АМП, применяют биоинформационный подход, основанный на использовании протеомных баз данных, в частности, PeptideCutter, Protein NCBI, BIOPEP, AVPdb и других.

В качестве источника АМП используется ферментированный пепсином или трипсином соевый белок (*Соколов и др., 2023*), белок мяса и мясopодуков (*Chernukha et al., 2020*), белок яичного альбумина (*Жамсаранова и др., 2021*), ферменты бактериофагов (*Peng et al., 2017*).

Одним из перспективных источников АМП являются молочные белки, в частности, белки молозива коров (*Flom et al., 2019; Yang et al., 2019*). Следует отметить, что нативные молочные белки – казеин (CN), β-лактоглобулин (BLG) и α-лактальбумин (ALA) – могут вызывать пищевую аллергию (*Hattori et al., 2004*).

После ферментативного гидролиза молочного белка полученные пептиды, как правило, не содержат эпитопы аллергенов (*Picariello et al., 2013*).

Важным фактором, обуславливающим использования молозива коров в качестве источника АМП, является то, что оно содержит пептиды и белки с прямым противомикробным действием (*Stelwagen et al., 2009*).

Целью работы является выделение из пепсинового гидролизата молозива коров пептида, прогнозирование его антимикробной активности с использованием биоинформационного подхода и подтверждение его эффективности *in vitro*.

## Материал и методы

Для выделения пептида использовали молозиво коров черно-пестрой породы, отобранное через 4 часа после отела (агрокомплекс Аверино, Свердловская область).

В качестве белка-предшественника использовали лактоферрин. Гидролиз белков молозива проводили по следующим параметрам: продолжительность – 4,5 ч, количество фермента (пепсин, КФ 3.4.23.1, активность 1 200 ЕД (Сигма, Германия)) – 3,6 %, pH = 1,6;  $t = 39$  °С. Математическое моделирование процесса гидролиза белков молозива и прогнозирование биологической активности полученных пептидов проводили с помощью программы Microsoft Excel 2021 с учетом авторской программы исследователей (*Азаркова и др., 2023*) и с использованием баз данных белков APD, BIOPEP, Protein NCBI, PeptideCutter, противовирусных пептидов CSIR и других.

Для исследования пептидного состава ферментативного гидролизата молозива коров удаляли осадок центрифугированием при 3 900 об/мин в течение 5 мин и работали с надосадочной жидкостью и осадком. Надосадочную жидкость разделяли методом препаративной хроматографии на силикагеле 60 PF 254, элюэнт PBS и EtOH в изократическом соотношении 9 : 1.

Далее изучение белкового состава надосадочной жидкости ферментативного гидролизата молозива проводили осаждением белков сульфатом аммония. После осаждения образцы центрифугировали (3 900 об/мин в течение 5 мин) и собирали белковый осадок. Белковый осадок гидролизата, полученный при центрифугировании гидролизата молозива, и осадок надосадочной жидкости очищали от солей и неорганических примесей на колонке с Amberlit XAD2, элюэнт: Буфер А: 10 mM CH<sub>3</sub>COONa pH = 6; 10 mM CH<sub>3</sub>COONa pH = 4; 10 mM KCl/HCl pH = 1,5 с градиентом соли буфер А + 0,2 %, 0,4 %, 1 % NaCl.

Фракции каждого образца изучали на наличие белка методом Брэдфорда. Полученные фракции пептидов из раствора образцов были разделены методом препаративной хроматографии на силикагеле, элюэнт PBS и EtOH в изократическом соотношении 9 : 1 соответственно.

В результате гидролиза было получено 9 пептидов с содержанием (мг/мл гидролизата) и чистотой более 95,4 %: LREGIKNK (1,9), ANRKLANKSR (3,4), MANRKLARSR (1,6), MRKAKCCIR (1,7), YKTVTWCVLNDFPKKDSLVDYVVK (1,6), PAFAASSKA (1,4), IRHGRCVSCSR (2,2), EKLAKNKLARGLKRK (2,1), LRQLSVVVAYKGGKDVGLNDCEEADRHKSSHRDEVSSFRNSYSIYENHGP SAKCAREVGR (0,8).

При прогнозировании антимикробной активности пептидов с использованием баз данных Protein NCBI и AVPdb установлено, что пептид ANRKLANKSR, возможно, обладает антимикробными свойствами. В связи с этим он был использован для дальнейших исследований.

Молекулярно-массовое распределение пептида оценивали масс-спектрометрическим методом и идентифицировали методом MALDI-TOF на MALDI-времяпролетном масс-спектрометре Ultraflex (Bruker, Германия). Анализ масс-спектров проводили с помощью программы Mascot, опция Peptide Fingerprint (Matrix Science, США) с использованием базы данных Protein NCBI. Микросеквенирование – с использованием секвенатора MiSeq (Illumina, США) и системы для высокопроизводительного секвенирования PGM Ion Torrent и системы спектрофотометрической оценки качества образца (Life Technologies, США).

Моделирование пространственной структуры выделенного пептида осуществляли с помощью программы молекулярного моделирования Schrodinger Maestro (США).

Антимикробную активность пептида в концентрации изучали диско-диффузионным методом на грамположительных и грамотрицательных бактериях. В качестве тест-штаммов выбраны *Escherichia coli*, грамположительная бактерия *Bacillus subtilis* и гриб *C. albicans*. Культивирование штаммов бактерий проводили на плотной питательной среде LB (агар – 1,5 %, триптон – 1 %, дрожжевой экстракт – 0,5 %, NaCl – 1 %) и жидкой питательной среде LB (триптон – 1 %, дрожжевой экстракт – 0,5 %, NaCl – 1 %) при температуре 37 °С. Тест-штамм высевали на агаризованную питательную среду газонотом. Одновременно на газон помещали пептид в количестве 27 мг, так как указанная концентрация пептидов молозива коров показала высокую эффективность по снижению интернализации лентивируса в геном клетки и взаимодействия с рецепторами для проникновения в мембрану (Тихонов, 2023). В качестве контроля использовался бумажный диск с питательной средой; в качестве препарата сравнения – диск с антибиотиком (канамицин из стандартного набора). Чашки Петри инкубировали при температуре, соответствующей оптимальной температуре роста каждого тест-штамма микроорганизма, в течение 24,0 ± 0,5 ч. Результаты учитывались по наличию и размеру (в мм) прозрачной зоны отсутствия роста микроорганизмов вокруг диска.

### Результаты и обсуждение

Из пепсинового гидролизата молозива коров выделен пептид, который отсутствует в известных протеомных базах Protein NCBI и AVPdb и его биологическая активность и функции не исследованы.

По данным (Moretta et al., 2021) механизмы действия АМП зависят от различных физико-химических свойств: молекулярная масса, заряд, структура, длина аминокислотной последовательности, гидрофобность и аминокислотный состав.

На основании анализа масс-спектра пептида (рис. 1) определены состав аминокислотной последовательности и молекулярная масса пептида.

На рис. 1 представлен масс-спектр пептида.

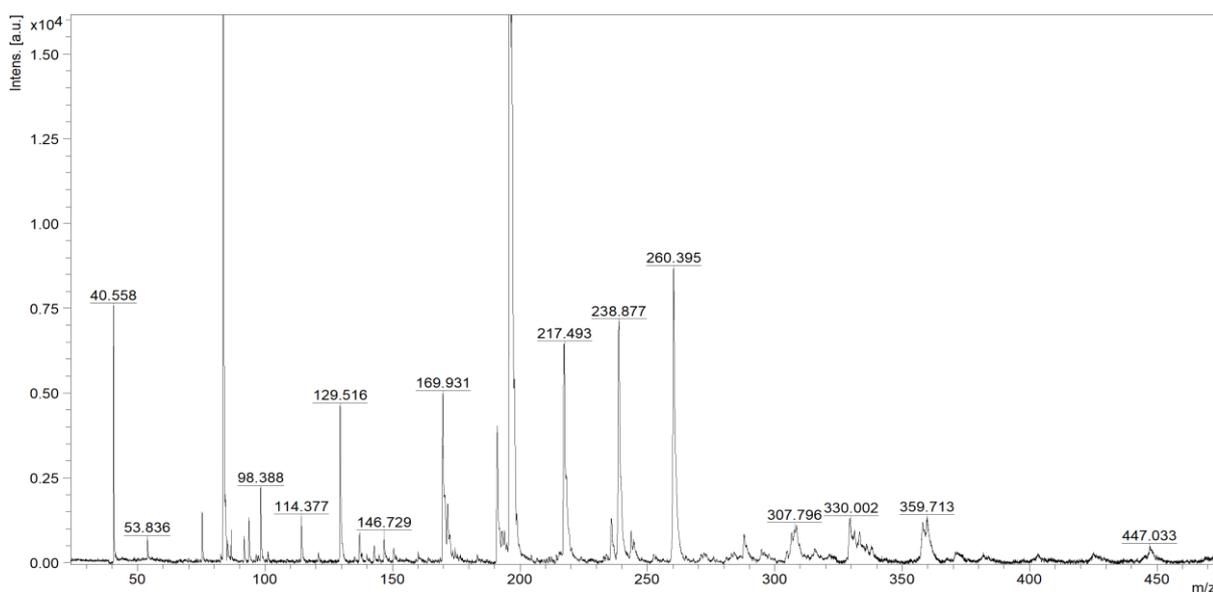


Рис. 1. Масс-спектр пептида  
Fig. 1. Mass spectrum of the peptide

При моделировании структуры пептида (рис. 2) удалось определить его заряд, гидрофобность и изоэлектрическую точку.

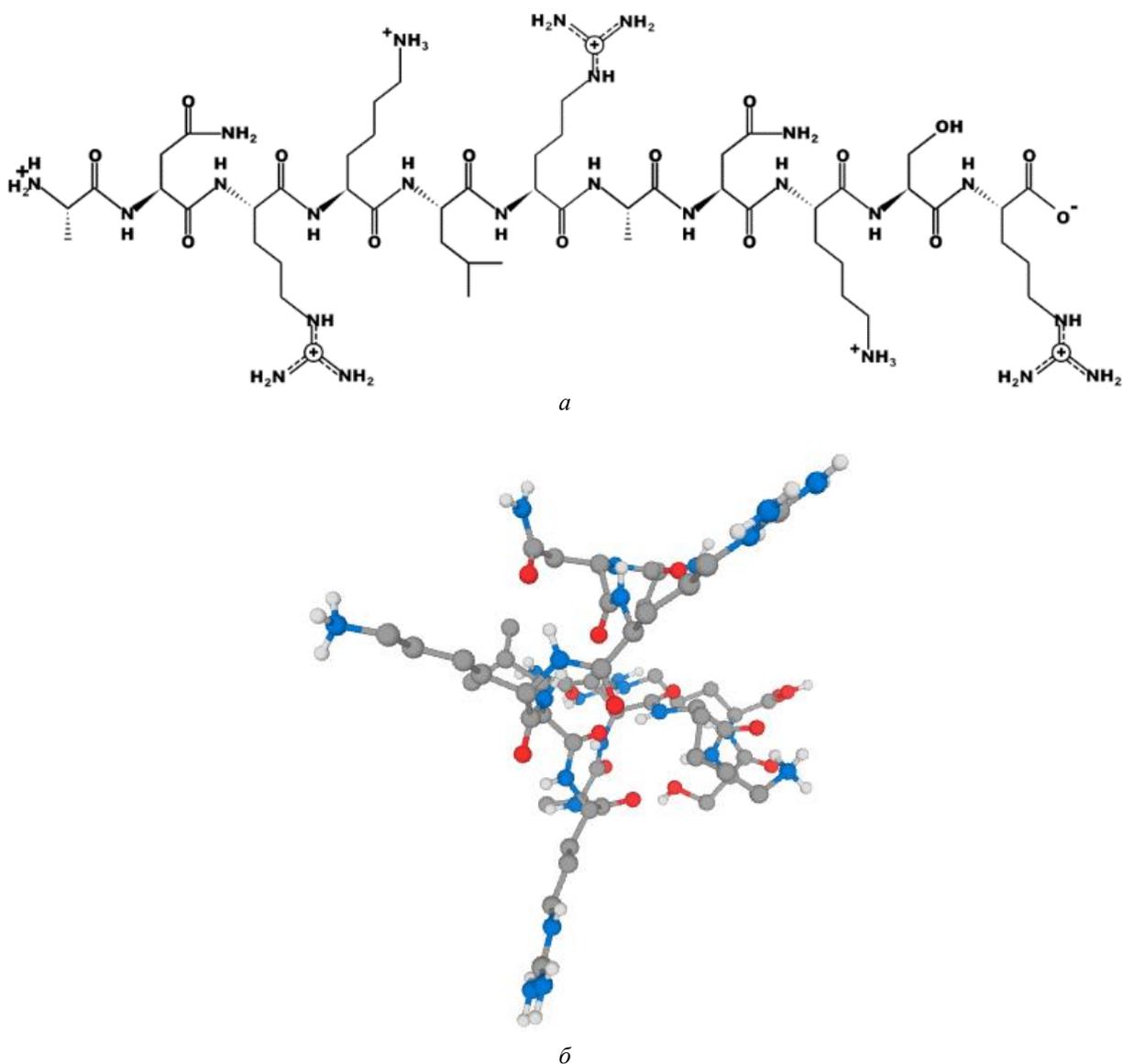


Рис. 2. Двухмерная (а) и трехмерная (б) структура пептида  
Fig. 2. Two-dimensional (a) and three-dimensional (b) structure of the peptide

Полученный пептид относится к линейным альфа-спиральным пептидам и состоит из 11 аминокислотных последовательностей ANRKL RANKSR, его молекулярная масса – 8,2 кДа, изоэлектрическая точка на уровне 12,79, заряд +5 (катионный), гидрофильность (гидрофобность) +20,84 Ккал\*моль<sup>-1</sup>.

Можно предположить, что пептид обладает антимикробными свойствами, так как большинство АМП относятся к линейным  $\alpha$ -спиральным пептидам (Mishra *et al.*, 2018), аминокислотная последовательность включает менее 50 аминокислот, пептид имеет молекулярную массу менее 10 кДа и положительный заряд (катионный) (Travis *et al.*, 2000).

По данным (Dürr *et al.*, 2006) АМП являются катионными и способны связываться с отрицательно заряженным внешним листком микробной мембраны, приводя к ее разрушению.

Катионные пептиды предоставляют новые возможности в лечении инфекций, вызванных грамотрицательными патогенами, поскольку они часто могут проникать анионные ЛПС внешней мембраны, что приводит к лизису клеток. Аналогичным образом АМП могут действовать как усилители антимикробной активности обычных антибиотиков в отношении грамотрицательных патогенов (Bhattacharjya *et al.*, 2020). Однако некоторые грамотрицательные бактерии обладают врожденной устойчивостью к катионным АМП, связанной с изменениями ЛПС наружной мембраны (Ghimire *et al.*, 2022).

Для пептидов с  $\alpha$ -спиралью характерен механизм действия на основе модели бочкообразных пор (рис. 3), в которой  $\alpha$ -спираль создает вертикальные поры поперек мембраны, а пептиды накапливаются

в бочкообразных агрегатах, демонстрирующих водопроницаемые и трансмембранно ориентированные поры (Mink et al., 2021; Zhang et al., 2021).

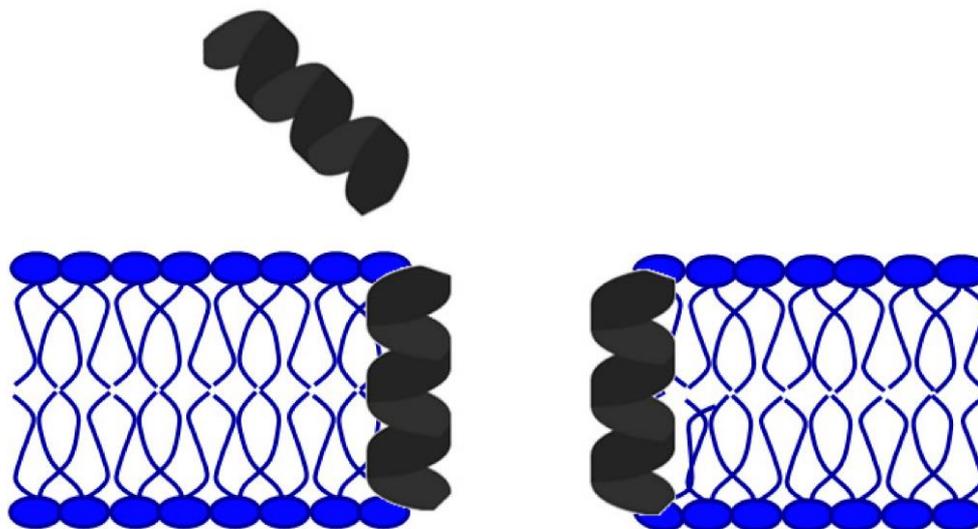


Рис. 3. Модель бочкообразных пор в мембране бактериальных клеток под действием антимикробных пептидов  
 Fig. 3. A model of barrel-shaped pores in the membrane of bacterial cells under the action of antimicrobial peptides

В последние годы поиск пептидных последовательностей с известными биологическими свойствами стал очень популярным, и соответствующие подходы постоянно разрабатываются. Авторами (Yan et al., 2022) представлены передовые вычислительные стратегии и выделены две группы исследовательских подходов: во-первых, открытие новых пептидов из встречающихся в природе последовательностей, во-вторых, разработка искусственных пептидов путем модификации известных или разработки *de novo*. Подход к открытию АМП предсказывает потенциальные пептиды путем виртуального скрининга больших библиотек известных пептидов, в частности, в поисках пептидов, которые структурно наиболее близки по последовательности к известным АМП.

Следует отметить, что помимо положительного заряда и гидрофобности альфа-спиральные пептиды могут иметь различные аминокислотные последовательности, что приводит к усилению цитолитического и антибактериального эффектов (Pino-Angeles et al., 2016).

В табл. 1 представлен аминокислотный состав последовательности пептида.

Таблица 1. Аминокислотный состав последовательности пептида  
 Table 1. Amino acid composition of the peptide sequence

Наименование показателя аминокислотного состава последовательности пептида	Аминокислотный состав
Гидрофобная аминокислота	I: 0 V: 0 L: 1 F: 0 C: 0 M: 0 A: 2 W: 0
Количество G и P	G: 0 P: 0
Отрицательно заряженная аминокислота	E: 0 D: 0
Положительно заряженная аминокислота	K: 2 R: 3 H: 0
Другая аминокислота	T: 0 S: 1 Y: 0 Q: 0 N: 2

Анализ аминокислотной последовательности позволяет утверждать, что в пептиде содержатся 2 гидрофобные аминокислоты, которые обеспечивают ему высокий уровень гидрофобности и обуславливают антимикробную активность.

Исследуемый нами пептид имеет аминокислотную последовательность KL, что свидетельствует о возможных противомикробных свойствах, так как вышеуказанная последовательность повторяется 5 раз в известном и испытанном антимикробном пептиде, состоящем из 18 аминокислот LKLLKLLKLLKLLKLL, разработанным и полученным синтетическим путем (Blondelle et al., 1992). Также подтверждением наличия антимикробной активности исследуемого пептида является то, что последовательность KL присутствует еще в одном известном пептиде Ac-LKLLKLLKLLKLLKLL-NH<sub>2</sub>, обладающем бактерицидным действием в отношении *E. coli* и *P. aeruginosa* (Yan et al., 2022), и в антимикробных пептидах G-A и G-G в отношении MCF7, A549, *E. coli* и *C. aureus* (Liu et al., 2022; Dean et al., 2020; Tucs, 2020).

Проведены исследования антимикробной и противогрибковой активности пептида (табл. 2).

Таблица 2. Антимикробная и противогрибковая активность пептида  
Table 2. Antimicrobial and antifungal activity of the peptide

Наименование образца	Диаметр зоны лизиса, мм		
	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>B. subtilis</i>	<i>C. albicans</i>
Пептид	18	17	12
Контроль	0	0	0
Антибиотик "Канамицин"	22	24	Не исследовали
Противогрибковый препарат "Флуконазол"	Не исследовали	Не исследовали	26

В результате исследований *in vitro* установлено, что выделенный пептид обладает антимикробной активностью в отношении *E. coli* ATCC 25922 и *B. subtilis* и противомикробным действием к *C. albicans*. Так, зона лизиса бактерий под действием пептида составила 18 и 17 мм, но в то же время она ниже на 18,2 и 29,2 % по сравнению с действием антибиотика "Канамицин". Под действием пептида происходит гибель *C. albicans* (зона лизиса 12 мм), что меньше на 53,8 % по сравнению с действием противогрибкового препарата "Флуконазол".

Следовательно, предложенная нами на основании физических свойств пептида и аминокислотной последовательности гипотеза о его противомикробном действии подтверждена в эксперименте *in vitro*.

### Заключение

За последние несколько десятилетий возрос научный интерес к биоактивным пептидам пищевого происхождения в качестве альтернативы фармакологическим методам лечения заболеваний бактериальной этиологии, которые представляют серьезную проблему для здоровья человека во всем мире, так как антибиотикорезистентность возрастает. АМП можно рассматривать как потенциальные противомикробные средства, поскольку они обладают другим механизмом действия в сравнении с антибиотиками. В модели "бочкообразные поры" АМП образуют пучок, который вставляется в мембрану для образования гидрофильной поры, при этом гидрофобные остатки взаимодействуют с липидами, а полярные остатки обращены к каналу поры. Выделенный нами из пепсинового гидролизата молозива коров катионный альфа-спиральный пептид обладает антимикробными и противогрибковыми свойствами, менее выраженными по сравнению с общепринятыми препаратами. Возможно, антимикробную активность полученного пептида можно усилить за счет химических модификаций, в частности, дополнительного введения аминокислотных последовательностей с противобактериальными свойствами. Такой АМП пептид можно получить путем использования методов *in silico*, что позволит после проведения исследований цитотоксичности/токсичности и противомикробной активности *in vitro* и *in vivo* использовать его как профилактическое антибактериальное средство в составе пищевой продукции.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Агаркова Е. Ю., Семипятный В. К. Разработка программы системного анализа и выбора оптимальных ферментных препаратов для высвобождения биоактивных пептидов // Пищевая промышленность. 2023. № 2. С. 6–10. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2023.2.2.001>. EDN: RCWLJH.
- Жамсаранова С. Д., Лебедева С. Н., Болхонов Б. А., Соколов Д. В. Ферментативная конверсия пищевого белка и оценка антиоксидантной активности пептидов // Вестник ВСГУТУ. 2021. № 4(83). С. 5–14. DOI: [https://doi.org/10.53980/24131997\\_2021\\_4\\_5](https://doi.org/10.53980/24131997_2021_4_5). EDN: TNSCKR.
- Соколов Д. В., Болхонов Б. А., Жамсаранова С. Д., Лебедева С. Н. [и др.]. Ферментативный гидролиз соевого белка // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 1. С. 86–96. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2418>. EDN: DHXSAX.
- Тихонов С. Л. Исследование противовирусной активности ферментативных гидролизатов белков с обоснованием возможности их использования в составе специализированной пищевой продукции // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2023. Т. 11, № 2. С. 103–111. DOI: <https://doi.org/10.14529/food230212>. EDN: FNEJIN.
- Bhattacharjya S., Straus S. K. Design, engineering and discovery of novel  $\alpha$ -helical and  $\beta$ -boomerang antimicrobial peptides against drug resistant bacteria // International Journal of Molecular Sciences. 2020. Vol. 21, Iss. 16. Article number: 5773. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21165773>.
- Blondelle S. E., Houghten R. A. Design of model amphipathic peptides having potent antimicrobial activities // Biochemistry. 1992. Vol. 31, Iss. 50. P. 12688–12694. DOI: <https://doi.org/10.1021/bi00165a020>.

- Chernukha I. M., Mashentseva N. G., Afanasev D. A., Vostrikova N. L. Biologically active peptides of meat and meat product proteins: A review. Part 2. Functionality of meat bioactive peptides // Theory and practice of meat processing. 2020. Vol. 5, Iss. 2. P. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-2-12-19>.
- Dean S. N., Walper S. A. Variational autoencoder for generation of antimicrobial peptides // ACS Omega. 2020. Vol. 5, Iss. 33. P. 20746–20754. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00442>.
- Dürr U. H. N., Sudheendra U. S., Ramamoorthy A. LL-37, the only human member of the cathelicidin family of antimicrobial peptides // Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes. 2006. Vol. 1758, Iss. 9. P. 1408–1425. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbamem.2006.03.030>.
- Flom J. D., Sicherer S. H. Epidemiology of cow's milk allergy // Nutrients. 2019. Vol. 11, Iss. 5. Article number: 1051. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11051051>.
- Gaglione R., Pizzo E., Notomista E., de la Fuente-Nunez C. [et al.]. Host defence cryptides from human apolipoproteins: Applications in medicinal chemistry // Current Topics in Medicinal Chemistry. 2020. Vol. 20, Iss. 14. P. 1324–1337. DOI: <https://doi.org/10.2174/1568026620666200427091454>.
- Ghimire J., Guha S., Nelson B. J., Morici L. A. [et al.]. The remarkable innate resistance of burkholderia bacteria to cationic antimicrobial peptides: Insights into the mechanism of AMP resistance // The Journal of Membrane Biology. 2022. Vol. 255, Iss. 4–5. P. 503–511. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00232-022-00232-2>.
- Hattori M., Miyakawa S., Ohama Y., Kawamura H. [et al.]. Reduced immunogenicity of  $\beta$ -lactoglobulin by conjugation with acidic oligosaccharides // Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2004. Vol. 52, Iss. 14. P. 4546–4553. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0353887>.
- Lee E. Y., Wong G. C. L., Ferguson A. L. Machine learning-enabled discovery and design of membrane-active peptides // Bioorganic & Medicinal Chemistry. 2018. Vol. 26, Iss. 10. P. 2708–2718. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2017.07.012>.
- Liu S., Lin Y., Liu J., Chen X. [et al.]. Targeted modification and structure-activity study of GL-29, an analogue of the antimicrobial peptide Palustrin-2ISb // Antibiotics. 2022. Vol. 11, Iss. 8. Article number: 1048. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11081048>.
- Magana M., Pushpanathan M., Santos A. L., Leanse L. [et al.]. The value of antimicrobial peptides in the age of resistance // The Lancet Infectious Diseases. 2020. Vol. 20, Iss. 9. P. e216–e230. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(20\)30327-3](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(20)30327-3).
- Mehta K., Sharma P., Mujawar S., Vyas A. Role of antimicrobial peptides in treatment and prevention of mycobacterium tuberculosis: A review // International Journal of Peptide Research and Therapeutics. 2022. Vol. 28, Iss. 5. Article number: 132. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10989-022-10435-9>.
- Mink C., Strandberg E., Wadhvani P., Melo M. N. [et al.]. Overlapping properties of the short membrane-active peptide BP100 with (i) polycationic TAT and (ii)  $\alpha$ -helical magainin family peptides // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2021. Vol. 11. Article number: 609542. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.609542>.
- Mishra A. K., Choi J., Moon E., Baek K.-H. Tryptophan-rich and proline-rich antimicrobial peptides // Molecules. 2018. Vol. 23, Iss. 4. Article number: 815. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23040815>.
- Moretta A., Scieuzo C., Petrone A. M., Salvia R. [et al.]. Antimicrobial peptides: A new hope in biomedical and pharmaceutical fields // Frontiers in Cellular and Infection Microbiology. 2021. Vol. 11. Article number: 668632. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.668632>.
- Peng S.-Y., You R.-I., Lai M.-J., Lin N.-T. [et al.]. Highly potent antimicrobial modified peptides derived from the Acinetobacter baumannii phage endolysin LysAB2 // Scientific Reports. 2017. Vol. 7. Article number: 11477. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11832-7>.
- Picariello G., Iacomino G., Mamone G., Ferranti P. [et al.]. Transport across Caco-2 monolayers of peptides arising from *in vitro* digestion of bovine milk proteins // Food Chemistry. 2013. Vol. 139, Iss. 1–4. P. 203–212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.063>.
- Pino-Angeles A., Leveritt III J. M., Lazaridis T. Pore structure and synergy in antimicrobial peptides of the magainin family // PLOS Computational Biology. 2016. Vol. 12, Iss. 1. Article number: e1004570. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004570>.
- Porto W. F., Irazazabal L., Alves E. S. F., Ribeiro S. M. In silico optimization of a guava antimicrobial peptide enables combinatorial exploration for peptide design // Nature Communications. 2018. Vol. 9, Iss. 1. Article number: 1490. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03746-3>.
- Silva T., Gomes M. S. Immuno-stimulatory peptides as a potential adjunct therapy against intra-macrophagic pathogens // Molecules. 2017. Vol. 22, Iss. 8. Article number: 1297. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22081297>.
- Stelwagen K., Carpenter E., Haigh B., Hodgkinson A. [et al.]. Immune components of bovine colostrum and milk // Journal of Animal Science. 2009. Vol. 87, suppl\_13. P. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1377>.
- Travis S. M., Anderson N. N., Forsyth W. R., Espiritu C. Bactericidal activity of mammalian cathelicidin-derived peptides // Infection and Immunity. 2000. Vol. 68, Iss. 5. P. 2748–2755. DOI: <https://doi.org/10.1128/iai.68.5.2748-2755.2000>.

- Tucs A., Tran D. P., Yumoto A., Ito Y. [et al.]. Generating ampicillin-level antimicrobial peptides with activity-aware generative adversarial networks // *ACS Omega*. 2020. Vol. 5, Iss. 36. P. 22847–22851. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c02088>.
- Yan J., Cai J., Zhang B., Wang Y. [et al.]. Recent progress in the discovery and design of antimicrobial peptides using traditional machine learning and deep learning // *Antibiotics*. 2022. Vol. 11, Iss. 10. Article number: 1451. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101451>.
- Yang M., Tan M., Wu J., Chen Z. [et al.]. Prevalence, characteristics, and outcome of cow's milk protein allergy in Chinese infants: A population-based survey // *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*. 2019. Vol. 43, Iss. 6. P. 803–808. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpen.1472>.
- Zhang S., Ma M., Shao Z., Zhang J. [et al.]. Structure and formation mechanism of antimicrobial peptides temporin B- and L-induced tubular membrane protrusion // *International Journal of Molecular Sciences*. 2021. Vol. 22, Iss. 20. Article number: 11015. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22011015>.

## References

- Agarkova, E. Yu., Semipyatny, V. K. 2023. Development of the program for system analysis and selection of optimal enzyme preparations for the release of bioactive peptides. *Food Industry*, 2, pp. 6–10. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2023.2.2.001>. EDN: RCWLJH. (In Russ.)
- Zhamsaranova, S. D., Lebedeva, S. N., Bolkhonov, B. A., Sokolov, D. V. 2021. Enzymatic conversion of food protein and evaluation of antioxidant activity of peptides. *ESSUTM Bulletin*, 4(83), pp. 5–14. DOI: [https://doi.org/10.53980/24131997\\_2021\\_4\\_5](https://doi.org/10.53980/24131997_2021_4_5). EDN: TNSCKR. (In Russ.)
- Sokolov, D. V., Bolkhonov, B. A., Zhamsaranova, S. D., Lebedeva, S. N. 2023. Enzymatic hydrolysis of soy protein. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(1), pp. 86–96. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2418>. EDN: DHXSAX. (In Russ.)
- Tikhonov, S. L. 2023. Investigation of antiviral activity of enzymatic hydrolysates of proteins with justification of the possibility of their use as part of specialized food products. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 11(2), pp. 103–111. DOI: <https://doi.org/10.14529/food230212>. EDN: FNEJIN. (In Russ.)
- Bhattacharjya, S., Straus, S. K. 2020. Design, engineering and discovery of novel  $\alpha$ -helical and  $\beta$ -boomerang antimicrobial peptides against drug resistant bacteria. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(16). Article number: 5773. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms21165773>.
- Blondelle, S. E., Houghten, R. A. 1992. Design of model amphipathic peptides having potent antimicrobial activities. *Biochemistry*, 31(50), pp. 12688–12694. DOI: <https://doi.org/10.1021/bi00165a020>.
- Chernukha, I. M., Mashentseva, N. G., Afanasev, D. A., Vostrikova, N. L. 2020. Biologically active peptides of meat and meat product proteins: A review. Part 2. Functionality of meat bioactive peptides. *Theory and Practice of Meat Processing*, 5(2), pp. 12–19. DOI: <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-2-12-19>.
- Dean, S. N., Walper, S. A. 2020. Variational autoencoder for generation of antimicrobial peptides. *ACS Omega*, 5(33), pp. 20746–20754. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c00442>.
- Dürr, U. H. N., Sudheendra, U. S., Ramamoorthy, A. 2006. LL-37, the only human member of the cathelicidin family of antimicrobial peptides. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*, 1758(9), pp. 1408–1425. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbame.2006.03.030>.
- Flom, J. D., Sicherer, S. H. 2019. Epidemiology of cow's milk allergy. *Nutrients*, 11(5). Article number: 1051. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11051051>.
- Gaglione, R., Pizzo, E., Notomista, E., de la Fuente-Nunez, C. et al. 2020. Host defence cryptides from human apolipoproteins: Applications in medicinal chemistry. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 20(14), pp. 1324–1337. DOI: <https://doi.org/10.2174/1568026620666200427091454>.
- Ghimire, J., Guha, S., Nelson, B. J., Morici, L. A. et al. 2022. The remarkable innate resistance of burkholderia bacteria to cationic antimicrobial peptides: Insights into the mechanism of AMP resistance. *The Journal of Membrane Biology*, 255(4–5), pp. 503–511. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00232-022-00232-2>.
- Hattori, M., Miyakawa, S., Ohama, Y., Kawamura, H. et al. 2004. Reduced immunogenicity of  $\beta$ -lactoglobulin by conjugation with acidic oligosaccharides. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(14), pp. 4546–4553. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf0353887>.
- Lee, E. Y., Wong, G. C. L., Ferguson, A. L. 2018. Machine learning-enabled discovery and design of membrane-active peptides. *Bioorganic & Medicinal Chemistry*, 26(10), pp. 2708–2718. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bmc.2017.07.012>.
- Liu, S., Lin, Y., Liu, J., Chen, X. et al. 2022. Targeted modification and structure-activity study of GL-29, an analogue of the antimicrobial peptide Palustrin-2ISb. *Antibiotics*, 11(8). Article number: 1048. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11081048>.
- Magana, M., Pushpanathan, M., Santos, A. L., Leanse, L. et al. 2020. The value of antimicrobial peptides in the age of resistance. *The Lancet Infectious Diseases*, 20(9), pp. e216–e230. DOI: [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(20\)30327-3](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(20)30327-3).

- Mehta, K., Sharma, P., Mujawar, S., Vyas, A. 2022. Role of antimicrobial peptides in treatment and prevention of mycobacterium tuberculosis: A review. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics*, 28(5). Article number: 132. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10989-022-10435-9>.
- Mink, C., Strandberg, E., Wadhvani, P., Melo, M. N. et al. 2021. Overlapping properties of the short membrane-active peptide BP100 with (i) polycationic TAT and (ii)  $\alpha$ -helical magainin family peptides. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11. Article number: 609542. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.609542>.
- Mishra, A. K., Choi, J., Moon, E., Baek, K.-H. 2018. Tryptophan-rich and proline-rich antimicrobial peptides. *Molecules*, 23(4). Article number: 815. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules23040815>.
- Moretta, A., Scieuzo, C., Petrone, A. M., Salvia, R. et al. 2021. Antimicrobial peptides: A new hope in biomedical and pharmaceutical fields. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11. Article number: 668632. DOI: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.668632>.
- Peng, S.-Y., You, R.-I., Lai, M.-J., Lin, N.-T. et al. 2017. Highly potent antimicrobial modified peptides derived from the *Acinetobacter baumannii* phage endolysin LysAB2. *Scientific Reports*, 7. Article number: 11477. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-11832-7>.
- Picariello, G., Iacomino, G., Mamone, G., Ferranti, P. et al. 2013. Transport across Caco-2 monolayers of peptides arising from *in vitro* digestion of bovine milk proteins. *Food Chemistry*, 139(1–4), pp. 203–212. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.063>.
- Pino-Angeles, A., Leveritt, III J. M., Lazaridis, T. 2016. Pore structure and synergy in antimicrobial peptides of the magainin family. *PLOS Computational Biology*, 12(1). Article number: e1004570. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1004570>.
- Porto, W. F., Irazazabal, L., Alves, E. S. F., Ribeiro, S. M. 2018. In silico optimization of a guava antimicrobial peptide enables combinatorial exploration for peptide design. *Nature Communications*, 9(1). Article number: 1490. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03746-3>.
- Silva, T., Gomes, M. S. 2017. Immuno-stimulatory peptides as a potential adjunct therapy against intramacrophagic pathogens. *Molecules*, 22(8). Article number: 1297. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22081297>.
- Stelwagen, K., Carpenter, E., Haigh, B., Hodgkinson, A. et al. 2009. Immune components of bovine colostrum and milk. *Journal of Animal Science*, 87(suppl\_13), pp. 3–9. DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1377>.
- Travis, S. M., Anderson, N. N., Forsyth, W. R., Espiritu, C. 2000. Bactericidal activity of mammalian cathelicidin-derived peptides. *Infection and Immunity*, 68(5), pp. 2748–2755. DOI: <https://doi.org/10.1128/iai.68.5.2748-2755.2000>.
- Tucs, A., Tran, D. P., Yumoto, A., Ito, Y. et al. 2020. Generating ampicillin-level antimicrobial peptides with activity-aware generative adversarial networks. *ACS Omega*, 5(36), pp. 22847–22851. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.0c02088>.
- Yan, J., Cai, J., Zhang, B., Wang, Y. et al. 2022. Recent progress in the discovery and design of antimicrobial peptides using traditional machine learning and deep learning. *Antibiotics*, 11(10). Article number: 1451. DOI: <https://doi.org/10.3390/antibiotics11101451>.
- Yang, M., Tan, M., Wu, J., Chen, Z. et al. 2019. Prevalence, characteristics, and outcome of cow's milk protein allergy in Chinese infants: A population-based survey. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 43(6), pp. 803–808. DOI: <https://doi.org/10.1002/jpen.1472>.
- Zhang, S., Ma, M., Shao, Z., Zhang, J. et al. 2021. Structure and formation mechanism of antimicrobial peptides temporin B- and L-induced tubular membrane protrusion. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(20). Article number: 11015. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms222011015>.

#### Сведения об авторах

**Мерзлякова Наталия Вадимовна** – ул. Карла Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, Россия, 620075;  
Уральский государственный аграрный университет, аспирант;  
e-mail: merzlyakova@xk3.ru

**Natalya V. Merzlyakova** – 42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, Russia, 620075;  
Ural State Agrarian University, PhD Student; e-mail: merzlyakova@xk3.ru

**Тихонов Сергей Леонидович** – ул. Карла Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, Россия, 620075;  
Уральский государственный аграрный университет, д-р техн. наук, профессор;  
e-mail: tihonov75@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

**Sergey L. Tikhonov** – 42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, Russia, 620075;  
Ural State Agrarian University, Dr Sci. (Engineering), Professor;  
e-mail: tihonov75@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4863-9834>

**Тихонова Наталья Валерьевна** – ул. Карла Либкнехта, 42, г. Екатеринбург, Россия, 620075;  
Уральский государственный аграрный университет, д-р техн. наук, профессор;  
e-mail: [tihonov75@bk.ru](mailto:tihonov75@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

**Natalya V. Tikhonova** – 42 Karl Liebknecht Str., Yekaterinburg, Russia, 620075;  
Ural State Agrarian University, Dr Sci. (Engineering), Professor;  
e-mail: [tihonov75@bk.ru](mailto:tihonov75@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5841-1791>

**Пестова Инга Геннадьевна** – б-р Гагарина, 57, г. Пермь, Россия, 614070;  
Пермский институт (филиал) Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова, доцент;  
e-mail: [inga-pestova@rambler.ru](mailto:inga-pestova@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0559-965X>

**Inga G. Pestova** – 57 Gagarin Boulevard, Perm, Russia, 614070;  
Perm Institute (Branch) of Plekhanov Russian University of Economics, Associate Professor;  
e-mail: [inga-pestova@rambler.ru](mailto:inga-pestova@rambler.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0559-965X>

**Кулагова Екатерина Петровна** – ул. Козлова, 29, г. Минск, Республика Беларусь, 220037;  
Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию,  
канд. техн. наук, науч. сотрудник; e-mail: [tateka@tut.by](mailto:tateka@tut.by), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3559-771X>

**Elena P. Kulagova** – 29 Kozlova Str., Minsk, Republic of Belarus, 220037; Scientific and Practical Center  
of the National Academy of Sciences of Belarus for Food, Cand. Sci. (Engineering), Researcher;  
e-mail: [tateka@tut.by](mailto:tateka@tut.by), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3559-771X>

УДК 613.287

## Разработка состава и технологии сухих напитков на основе молочной сыворотки

Т. А. Антипова\*, Н. Л. Андросова, С. В. Фелик,  
С. В. Симоненко, О. В. Кудряшова

Научно-исследовательский институт детского питания – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, г. Истра, Московская обл., Россия;  
e-mail: science@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0365-4806>

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
04.07.2023;

принята  
к публикации  
13.07.2023

### Ключевые слова:

сухие напитки,  
ингредиенты,  
эффективность  
смешивания,  
содержание  
витамина С

Предприятия молочной и других отраслей пищевой промышленности используют молочную сыворотку при производстве различных пищевых продуктов. Анализ состава используемых ингредиентов показывает, что для производства продуктов специализированного питания широко применяется сухая деминерализованная молочная сыворотка, что объясняется ее высокими органолептическими характеристиками, гарантированными показателями качества и безопасности. В работе рассматривается возможность использования сухой деминерализованной сыворотки при создании сухих напитков для детского питания. Результаты исследований органолептических и физико-химических исследований доказывают целесообразность использования сухих соков и растительных экстрактов при создании состава и рецептур специализированных продуктов. Технология данных напитков предполагает стадию сухого смешивания используемых компонентов. Следует отметить, что некачественное смешивание неоднородных по структуре и сухим веществам микро- и макрокомпонентов является причиной снижения качества готовой продукции. Для оценки эффективности смешивания проведены исследования применяемых в рецептуре ингредиентов по показателям: массовая доля влаги и размер частиц. Эффективность смешивания оценивалась по результатам определения ключевого компонента (витамин С) в пробе и продолжительности смешивания. Смешивание считали эффективным, если в каждой из пяти проб содержание витамина С находилось в пределах от 12,2 мг до 14,9 мг. Результаты исследований процесса смешивания показывают, что эффективность зависит от набора рецептурных ингредиентов и дисперсности каждого из них. Полученные результаты применимы для апробированных условий эксперимента: фиксированной частоте вращения емкости смесителя, принятой схемы загрузки ингредиентов, полноты использования полезного объема емкости, рецептурной вариации.

### Для цитирования

Антипова Т. А. и др. Разработка состава и технологии сухих напитков на основе молочной сыворотки. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 242–248. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-242-248>.

## Development of the composition and technology of dry drinks based on whey

Tat'yana A. Antipova\*, Nadezhda L. Androsova, Svetlana V. Felik,  
Sergey V. Simonenko, Olga V. Kudryashova

Research Institute of Baby Food – Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology  
and Food Safety, Istra, Moscow region, Russia;  
e-mail: science@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0365-4806>

### Article info

Received  
04.07.2023;

accepted  
13.07.2023

### Key words:

dry drinks,  
ingredients,  
mixing efficiency,  
vitamin C content

### Abstract

Dairy and other food industries use whey in the production of various food products. The analysis of the composition of the ingredients used shows that dry demineralized whey is widely used for the production of specialized food products, which is explained by its high organoleptic characteristics, guaranteed quality and safety indicators. The paper considers the possibility of using dry demineralized whey when creating dry drinks for baby food. The results of organoleptic and physico-chemical studies prove the feasibility of using dry juices and plant extracts when creating the composition and formulations of specialized products. The technology of these drinks involves the stage of dry mixing of the components used. It should be noted that poor-quality mixing of micro- and macrocomponents that are heterogeneous in structure and dry matter is the cause of a decrease in the quality of the finished product. To assess the effectiveness of mixing, studies of the ingredients used in the formulation were carried out in terms of indicators: mass fraction of moisture and particle size. Mixing efficiency was evaluated by determining the key component (vitamin C) in the sample and the duration of mixing. Mixing was considered effective if the vitamin C content in each of the five samples was 12.2–14.9 mg. The results of studies of the mixing process show that the effectiveness depends on the set of prescription ingredients and the dispersion of each of them. The results obtained are applicable for the tested conditions of the experiment: a fixed frequency of rotation of the mixer container, the accepted scheme for loading ingredients, the completeness of the useful volume of the container, recipe variation.

### For citation

Antipova, T. A. et al. 2023. Development of the composition and technology of dry drinks based on whey. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 242–248. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-242-248>.

## Введение

В отрасли производства молочных продуктов одной из основных задач является комплексное промышленное использование вторичного молочного сырья, в том числе сыворотки. Наиболее перспективное направление промышленного использования сыворотки – это организация производства на ее основе напитков, которые включают ингредиенты, обладающие функциональными свойствами. В последние годы предприятия молочной и других отраслей пищевой промышленности все чаще используют сыворотку при производстве различных пищевых продуктов.

Несмотря на множество известных способов переработки молочной сыворотки, проблема ее утилизации по-прежнему сохраняется (*Щетинин и др., 2013*). При этом популярность напитков на сывороточной основе среди населения неуклонно растет.

К числу наиболее часто используемых ингредиентов для производства напитков из сыворотки относятся: фруктовые и ягодные наполнители, пищевые ароматизаторы и красители, стабилизаторы, регуляторы кислотности, витаминные и минеральные премиксы, подсластители, пре- и пробиотики, антиокислители и др.

Особое внимание заслуживают напитки из молочной сыворотки с использованием экстрактов лекарственных растений, обладающие широким спектром лечебно-профилактических свойств, уникальным биохимическим составом и набором биологически активных веществ. Наиболее приемлемым способом извлечения действующих веществ из листовой массы растений является экстракция. Лактоза и молочная кислота, присутствующие в молочной сыворотке, способствуют извлечению экстрактивных веществ из фитосырья. Напитки, обогащенные природными физиологически активными компонентами, способны оказывать оздоровительное или профилактическое действие на организм человека (*Анарбаева и др., 2017; Остроумов и др., 2014*).

Из числа лекарственных растений наиболее активно используются: крапива двудомная, Melissa лекарственная, мята перечная, плоды шиповника, рябина черноплодная, для улучшения цвета, вкуса и запаха – их комбинации в различном сочетании и соотношении.

Растительные экстракты в составе напитков повышают тонус организма, адаптивные возможности нервной системы, устойчивость организма к неблагоприятным факторам окружающей среды, обладают антиоксидантными свойствами (*Просеков, 2001; Куркин, 2020*).

Следует также отметить, что вкус молочной сыворотки очень хорошо сочетается со вкусом вводимых компонентов, что позволяет получать продукты, обладающие многообразием вкусовых предпочтений (*Воронова и др., 2014*).

При всех положительных аспектах использования натуральной сыворотки при производстве продуктов питания имеется ряд негативных моментов, с которыми производителям приходится считаться. Среди прочего использование сырой сыворотки проблематично с точки зрения транспортировки и быстрого ухудшения ее качества при повышенных температурах, особенно летом, когда в Российской Федерации образуются самые большие объемы сыворотки (*Бережная, 2021*).

Технологии напитков на основе сыворотки не требуют специального оборудования и реализуемы на существующих в отрасли перерабатывающих комбинатах. Преимущественно напитки вырабатывают из свежей подсырной сыворотки с сохранением всех ее составных частей как без добавления, так и с добавлением вкусовых и ароматических веществ. В обобщенном виде технологический процесс включает следующие операции: приемка и подготовка сырья; осветление сыворотки; составление смеси; пастеризация и охлаждение смеси; розлив, упаковка и доохлаждение готового напитка. На этапе технологического процесса "составление смеси" в молочную сыворотку вносят концентраты соков, различные немолочные компоненты, в том числе сахар-песок, ароматизаторы, включенные в рецептуру напитка. При использовании фруктовых концентратов соотношение сок – сыворотка подбирается с учетом органолептических показателей готового продукта.

Анализ состава и используемых ингредиентов показывает, что для производства продуктов специализированного питания широко применяется сухая деминерализованная молочная сыворотка, что объясняется ее высокими органолептическими характеристиками, гарантированными показателями качества и безопасности.

Производство сухих напитков, технология которых предполагает стадию сухого смешивания используемых компонентов, требует пристального внимания. Несмотря на простоту его осуществления, некачественное смешивание неоднородных по структуре и сухим веществам микро- и макрокомпонентов является причиной снижения качества готовой продукции за счет значительного разброса нормируемых показателей (*Веригин и др., 2015; Черкасов и др., 2015*).

Сывороточные напитки, выпускаемые в настоящее время промышленностью, предназначены для питания населения различных возрастных групп.

Цель работы – проведение научных исследований для создания технологий специализированных продуктов для детского питания на основе сыворотки с учетом высокой биологической ценности используемого для их производства сырья.

## Материалы и методы

В работе использовались органолептические, физико-химические, хроматографические и технологические методы исследований. В качестве основного компонента применялись сухая деминерализованная сыворотка, жировые и углеводные ингредиенты, фруктовые наполнители, растительные экстракты.

## Результаты и обсуждение

Для разработки состава и технологий сухих напитков авторами проведены исследования по изучению возможности применения различных ингредиентов для создания рецептур специализированных продуктов детского питания. В качестве основного компонента использована сухая подсырная сыворотка со степенью деминерализации 50 и 70 %. Обогащающие ингредиенты представлены сухими растительными соками: абрикоса, облепихи, яблока, груши, малины, брусники, клубники, манго и порошками экстрактов: шиповника и боярышника. Проведены исследования витаминного и минерального состава применяемых ингредиентов, в результате которых установлено, что содержание калия находится в пределах от 50,0 до 472,0 мг (в 100 г сухого продукта), магния – 5,0–61,6 мг; кальция – 15,4–87,5 мг; натрия – 10,0–88,3 мг; меди – 50,0–170 мкг; витамина С – 8,3–60,0 мг; фолиевой кислоты – 2,8–58,0 мг; витамина РР (НЭ) – 1,2–6,4 мг; витамина А (РЭ) – 4,4–33,7 мкг. Углеводная составляющая используемых компонентов разнообразна и представлена моно- и дисахаридами в количестве 4,6–24,7 г и полисахаридами (пектином, крахмалом, декстринами) – 0,05–0,23 г. Фруктовые соки богаты пищевыми волокнами, содержание которых составляет от 1,4 до 32,2 г и органическими кислотами в количестве 1,1–1,5 г.

Для установления приемлемых органолептических показателей и оптимального соотношения ингредиентов в лабораторных условиях выработаны опытные образцы напитков на основе сухой подсырной сыворотки с различным процентным внесением наполнителя (3 и 5 % для готового к употреблению напитка). Для достижения оптимального количества жира в готовом продукте использованы кокосовые сливки; для получения требуемой консистенции – стабилизатор (модифицированный кукурузный крахмал). Органолептические показатели корректировали внесением сахарозы и лимонной кислоты.

По результатам дегустационной оценки наибольшее количество баллов получили образцы с использованием сухой сыворотки со степенью деминерализации 70 %, что, возможно, связано с более сладким вкусом и меньшим количеством минеральных веществ (в сравнении с сывороткой со степенью деминерализации 50 %). При использовании фруктовых порошков наиболее приемлемыми в плане органолептического восприятия оказались образцы с яблочным, облепиховым соком и соком манго при дозировке наполнителя 5 %. Образцы напитков с соком абрикоса и груши отличались невыраженным вкусом. Внесение клубничного, малинового и брусничного наполнителя изменяло цвет напитка в негативную сторону. Это отрицательно сказалось на общем восприятии напитка. Данные образцы были исключены из дальнейших исследований.

При оценке напитков с растительными экстрактами дегустаторами предпочтение было отдано продукту с экстрактом шиповника, вносимом в количестве 3 %. Продукт характеризовался приемлемыми показателями цвета и вкуса. Напиток с экстрактом боярышника по органолептическим показателям имел самые низкие баллы из всех анализируемых образцов.

По результатам исследований разработаны рабочие рецептуры сухих напитков, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Рецептуры сухих напитков  
Table 1. Recipes of dry drinks

Используемый ингредиент	Массовое содержание в рецептуре, %	
	1	2
Сыворотка сухая деминерализованная	29,5–30,1	39,5–40,1
Крахмал кукурузный	10,3–10,8	10,5–10,9
Сухие кокосовые сливки	26,5–26,7	26,5–26,8
Сахар-песок	7,8–8,2	7,9–8,3
Порошок сока манго	24,8	–
Порошок шиповника	–	15,5–15,8
Лимонная кислота	0,1–0,3	0,1–0,2

Технология производства продукта одним из этапов предполагает стадию сухого смешивания используемых компонентов.

Эффективность смешивания напрямую зависит от структурных свойств применяемых компонентов. Чем ближе по этим признакам свойства частиц, тем быстрее и равномернее происходит их смешивание. Частицы компонентов, имеющих разные размеры, разную плотность и т. д., смешиваются дольше при прочих равных условиях.

Учитывая, что одними из основных показателей, влияющих на эффективность процесса смешивания, являются размер частиц компонентов смеси и массовая доля сухих веществ компонентов, авторами проведены исследования по изучению данных характеристик применяемых ингредиентов. Результаты исследований приведены в табл. 2.

Таблица 2. Характеристики применяемых ингредиентов  
Table 2. Characteristics of the ingredients used

Ингредиент	Основные параметры (средние значения)	
	Массовая доля влаги, %	Размер частиц, мкм
Сыворотка сухая деминерализованная	3,5–3,8	2,5–4,2
Крахмал кукурузный	11,7–12,1	12,4–23,8
Сухой сок манго	3,0–3,2	3,1–5,9
Сухие кокосовые сливки	4,0–4,5	30–50
Порошок шиповника	4,8	10–15
Сахар-песок	0,2	200–400

В условиях экспериментального производства проведены выработки по исследованию эффективности процесса смешивания порошкообразных ингредиентов сухого напитка.

Процесс смешивания осуществляли в гравитационном смесителе (рис. 1), представляющем собой V-образную емкость 3. В верхней части емкости находится люк 2, через который осуществляется загрузка ингредиентов, в нижней – люк разгрузки/выгрузки 4.

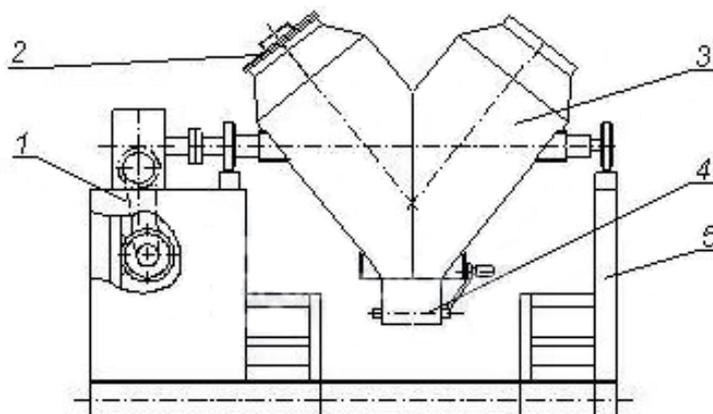


Рис. 1. Схема гравитационного смесителя:  
1 – привод; 2 – люк загрузки; 3 – емкость; 4 – люк выгрузки; 5 – рама  
Fig. 1. Diagram of the gravity mixer:  
1 – drive; 2 – loading hatch; 3 – container; 4 – unloading hatch; 5 – frame

Экспериментальное исследование эффективности смешивания проведено в следующей последовательности:

- загрузка ингредиентов в емкость смесителя;
- смешивание ингредиентов в течение определенного времени;
- отбор проб;
- оценка эффективности смешивания.

Загрузка компонентов осуществлялась с учетом полезного объема смесителя и массы рецептурных компонентов.

При определении эффективности смешивания необходимо было выбрать ключевой компонент, в качестве которого принят витамин С. Масса загружаемого в емкости смесителя витамина С по всем рецептурам одинакова – 5,49 г. Она определена исходя из принятой массы нетто потребительской упаковки сухого напитка – 12,3 г и принятого содержания витамина С в потребительской упаковке – 13,5 мг, что составляет от рекомендуемого суточного потребления витамина: 21 % – для детей от 3 до 6 лет; 22,5 % – для детей от 7 до 10 лет; 20,7 % – для детей от 11 до 14 лет; 16,8 % – для детей от 16 до 17 лет.

Смешивание ингредиентов осуществлялось при частоте вращения емкости смесителя  $3,35 \text{ с}^{-1}$  (32 об/мин). Отбор проб проводился с интервалом 5 мин от начала смешивания.

При каждом дискретном значении времени отбиралось по пять проб, по одной из каждого килограмма смеси ингредиентов, последовательно выгружаемой через разгрузочный затвор емкости (люк выгрузки). Из каждого килограмма смеси пробы отбирались случайным образом.

Эффективность смешивания оценивалась по результатам определения содержания витамина С в каждой из пяти проб и продолжительности смешивания. Смешивание считали эффективным, если в каждой из пяти проб содержание витамина С находится в пределах от 12,2 мг до 14,9 мг (отклонение от номинала 10 %).

Содержание витамина С в пробах определялось согласно ГОСТ 34151-2017 "Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии"<sup>1</sup>.

Результаты исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3. Содержание витамина С в пробах смеси порошкообразных ингредиентов  
Table 3. Vitamin C content in samples of powdered ingredients' mixture

Рецептура	Пробы	Среднее значение содержания витамина С в граммах при продолжительности смешивания, мин				
		5	10	15	20	25
1	1–5	6,8–17,1	8,7–16,5	11,5–14,9	12,3–14,9	–
2	1–5	6,9–19,2	7,5–19,0	9,0–16,8	11,8–15,0	12,2–14,8

Результаты исследований процесса смешивания показывают, что эффективность зависит от набора рецептурных ингредиентов и дисперсности каждого из них. Так, в первой рецептуре эффективность смешивания была достигнута за 20 мин, во второй – за 25 мин, что возможно связано с более крупным размером частиц используемого наполнителя – шиповника – в сравнении с соком манго. Содержание витамина С в пробах имеет более близкие значения к заданным параметрам.

Согласно полученным данным было рассчитано среднее отклонение содержания витамина С в зависимости от времени смешивания. Результаты исследований приведены на рис. 2.

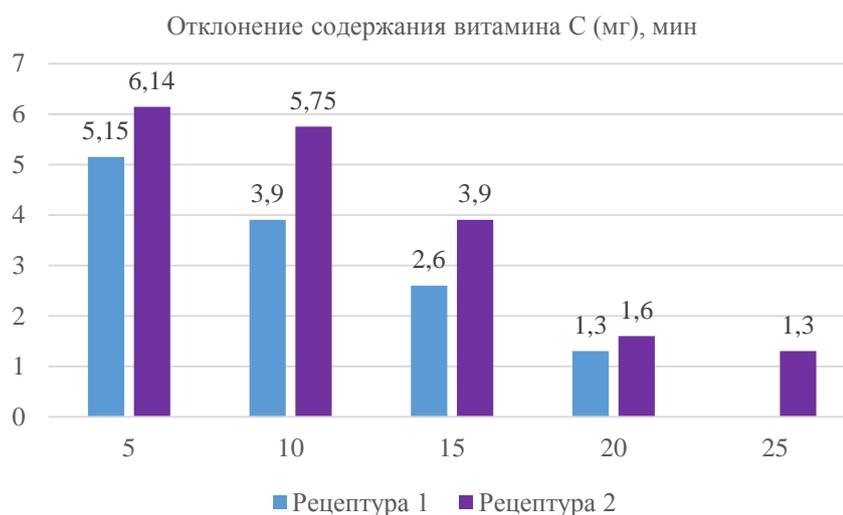


Рис. 2. Диаграмма отклонений содержания витамина С (мг) от номинального содержания витамина в пробе

Fig. 2. Diagram of deviations of vitamin C content (mg) from the nominal vitamin content in the sample

Как следует из полученных результатов исследования, требуемая эффективность смешивания, ассоциированная с допустимым отклонением содержания витамина С в пробе (1,3 мг) от его номинального содержания (13,5 мг), достигается при определенной продолжительности смешивания.

### Заключение

Согласно полученным результатам можно констатировать: время смешивания порошкообразных ингредиентов, обеспечивающее требуемую эффективность смешивания (однородность конечной смеси, равномерность распределения ингредиентов по объему емкости смесителя), зависит от рецептурного состава ингредиентов и их физических характеристик.

Полученные численные значения продолжительности смешивания применимы для апробированных условий эксперимента: фиксированная частота вращения емкости смесителя; принятая схема загрузки ингредиентов; полнота использования полезного объема емкости; рецептурные вариации.

<sup>1</sup> ГОСТ 34151-2017. Продукты пищевые. Определение витамина С с помощью высокоэффективной жидкостной хроматографии. М., 2019.

### Благодарности

Научно-исследовательская работа по подготовке статьи проведена за счет средств субсидии на выполнение государственного задания по направлению FGMF-2022-0007 "Оценка пищевого статуса детей и подростков и разработка состава, рецептур и технологий специализированных продуктов детского и геродиетического питания с использованием региональной сырьевой базы".

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Анарбаева О. Э., Кригер О. В. Пути повышения эффективности процесса экстрагирования из сырья растительного происхождения // Пищевые инновации и биотехнологии : материалы V междунар. науч. конф., Кемерово, 25 апреля 2017 г. Кемерово : Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет), 2017. С. 271–273.
- Бережная Е. А. Современное состояние и перспективы переработки молочной сыворотки // Вестник науки. 2021. Т. 3, № 1(34). С. 131–135. EDN: GBSEIM.
- Веригин А. Н., Панферов А. А., Емельянов М. В., Незамаев Н. А. Качество смешивания многокомпонентных дисперсных материалов // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). 2015. № 31(57). С. 75–83. EDN: VDOSKN.
- Воронова Н. С., Овчаров Д. В. Разработка технологии функционального напитка на основе молочной сыворотки с овощными наполнителями // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2014. № 104. С. 953–969. EDN: TFWSGJ.
- Куркин В. А. Фармакогнозия. Самара: СамГМУ Минздрава России, 2020. 1278 с.
- Остроумов Л. А., Кригер О. В., Карчин К. В., Щетинин М. П. Исследование химического состава плодов рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia*), произрастающей в Кемеровской области // Техника и технология пищевых производств. 2014. № 4(35). С. 38–42. EDN: TGSKUB.
- Просеков А. Ю. Роль межфазных поверхностных явлений в производстве дисперсных продуктов с пенной структурой (обзор) // Хранение и переработка сельхозсырья. 2001. № 8. С. 24–27. EDN: YRXYBY.
- Черкасов Р. И., Адигамов К. А., Воронин В. В., Гапон Н. В. [и др.]. Оценка качества смешивания сыпучих материалов с различным размером фракций // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. С. 169–172. EDN: UZJAHN.
- Щетинин М. П., Дорохова А. С. Производство и переработка молочной сыворотки в России и Алтайском крае // Ползуновский вестник. 2013. № 4–4. С. 80–84. EDN: SNABLB.

### References

- Anarbayeva, O. E., Krieger, O. V. 2017. Ways to increase the efficiency of the extraction process from raw materials of plant origin. Proceedings of the V Intern. Scien. Conf. *Food Innovations and Biotechnologies*, Kemerovo, April 25, 2017. Kemerovo, pp. 271–273. (In Russ.)
- Berezhnaya, E. A. 2021. The current state and prospects of whey processing. *Vestnik Nauki*, 3(1–34), pp. 131–135. EDN: GBSEIM. (In Russ.)
- Verigin, A. N., Panferov, A. A., Emelyanov, M. V., Nezamaev, N. A. 2015. Mixing quality of multicomponent dispersed materials. *Bulletin of the Saint Petersburg State Institute of Technology (Technical University)*, 31(57), pp. 75–83. EDN: VDOSKN. (In Russ.)
- Voronova, N. S., Ovcharov, D. V. 2014. Development of the technology of a functional drink based on whey with vegetable fillers. *Polythematic Online Scientific Journal of Kuban State Agrarian University*, 104, pp. 953–969. EDN: TFWSGJ. (In Russ.)
- Kurkin, V. A. 2020. Pharmacognosy. Samara. (In Russ.)
- Ostroumov, L. A., Krieger, O. V., Karchin, K. V., Shchetinin, M. P. 2014. Investigation of the chemical composition of the fruits of mountain ash (*Sorbus aucuparia*) growing in the Kemerovo region. *Food Processing: Techniques and Technology*, 4(35), pp. 38–42. EDN: TGSKUB. (In Russ.)
- Prosekov, A. Yu. 2001. The role of interphase surface phenomena in the production of dispersed products with foam structure (review). *Storage and Processing of Farm Products*, 8, pp. 24–27. EDN: YRXYBY. (In Russ.)
- Cherkasov, R. I., Adigamov, K. A., Voronin, V. V., Gapon, N. V. et al. 2015. Evaluation of the quality of mixing bulk materials with different size fractions. *Sovremennye Problemy Nauki i Obrazovaniya*, 2, pp. 169–172. EDN: UZJAHN. (In Russ.)
- Shchetinin, M. P., Dorokhova, A. S. 2013. Production and processing of whey in Russia and the Altai Territory. *Polzunovskiy Vestnik*, 4–4, pp. 80–84. EDN: SNABLB. (In Russ.)

### Сведения об авторах

**Антипова Татьяна Алексеевна** – ул. Московская, 48, г. Истра, Московская обл., Россия, 143500; Научно-исследовательский институт детского питания – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, д-р биол. наук, гл. науч. сотрудник; e-mail: science@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0365-4806>

**Tat'yana A. Antipova** – 48 Moskovskaya Str., Istra, Moscow region, Russia, 143500; Research Institute of Baby Food – Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Dr Sci. (Biology), Chief Researcher; e-mail: science@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0365-4806>

**Андросова Надежда Леонидовна** – ул. Московская, 48, г. Истра, Московская обл., Россия, 143500; Научно-исследовательский институт детского питания – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, науч. сотрудник; e-mail: info@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9838-3614>

**Nadezhda L. Androsova** – 48 Moskovskaya Str., Istra, Moscow region, Russia, 143500; Research Institute of Baby Food – Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Researcher; e-mail: info@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9838-3614>

**Фелик Светлана Валерьевна** – ул. Московская, 48, г. Истра, Московская обл., Россия, 143500; Научно-исследовательский институт детского питания – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник; e-mail: info@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2877-8984>

**Svetlana V. Felik** – 48 Moskovskaya Str., Istra, Moscow region, Russia, 143500; Research Institute of Baby Food – Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Cand. Sci. (Biology), Leading Researcher; e-mail: info@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2877-8984>

**Симоненко Сергей Владимирович** – ул. Московская, 48, г. Истра, Московская обл., Россия, 143500; Научно-исследовательский институт детского питания – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, д-р техн. наук; e-mail: info@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6999-5048>

**Sergey V. Simonenko** – 48 Moskovskaya Str., Istra, Moscow region, Russia, 143500; Research Institute of Baby Food – Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Dr Sci. (Engineering); e-mail: info@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6999-5048>

**Кудряшова Ольга Владимировна** – ул. Московская, 48, г. Истра, Московская обл., Россия, 143500; Научно-исследовательский институт детского питания – филиал Федерального исследовательского центра питания, биотехнологии и безопасности пищи, мл. науч. сотрудник; e-mail: lab1@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6634-3685>

**Ol'ga V. Kudryashova** – 48 Moskovskaya Str., Istra, Moscow region, Russia, 143500; Research Institute of Baby Food – Branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Junior Researcher; e-mail: lab1@niidp.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6634-3685>

## Получение напитков на овсяной основе с растительными добавками

А. В. Ерофеева\*, М. А. Бурмасова, М. А. Сысоева

\*Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань, Россия;  
e-mail: [anastasiya.erofeeva@inbox.ru](mailto:anastasiya.erofeeva@inbox.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2842-2865>

### Информация о статье

Поступила  
в редакцию  
24.04.2023;  
  
получена  
после доработки  
19.05.2023;  
  
принята к публикации  
23.05.2023

### Ключевые слова:

зерновой напиток,  
пророщенный овес,  
шрот аронии,  
сироп шиповника,  
растительные  
добавки

### Реферат

Овес характеризуется наличием ряда биологически активных веществ, которые способствуют нормализации работы желудочно-кишечного тракта и поддерживают здоровье сосудов. Зерна овса используются в диетическом питании, так как они не содержат глютен. Проращивание зерна овса способствует увеличению в нем содержания биологически активных веществ. Предлагаемый способ получения зерновых напитков на основе овса включает стадии промывки зерен, дезинфекции, проращивания зерен, получения жидкой зерновой основы, стабилизации структуры зерновой основы, стерилизации, внесения вкусовых компонентов. Разработанная технология позволяет получать зерновые напитки на овсяной основе со стабильной структурой и улучшенными органолептическими показателями без добавок и с растительными добавками, в качестве которых используются высушенный шрот аронии (2 %) и сироп шиповника (16 %). Органолептические показатели полученных напитков соответствуют требованиям нормативной документации. Напитки с растительными добавками превосходят напитки без добавок по вкусу, аромату, цвету и консистенции. Хранимоспособность напитков, установленная в ходе микробиологического исследования и анализа показателей вязкости и кислотности, составляет пять суток.

### Для цитирования

Ерофеева А. В. и др. Получение напитков на овсяной основе с растительными добавками. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 249–256. DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-249-256.

## Producing plant-supplemented oat-based beverages

Anastasia V. Yerofejeva\*, Marina A. Burmasova, Maria A. Sysoeva

\*Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia;  
e-mail: [anastasiya.erofeeva@inbox.ru](mailto:anastasiya.erofeeva@inbox.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2842-2865>

### Article info

Received  
24.04.2023;  
  
received  
in revised  
19.05.2023;  
  
accepted  
23.05.2023

### Key words:

grain beverage,  
sprouted oats,  
meal of aronia,  
rose hips syrup,  
herbal supplements

### Abstract

Oat grain is characterized by the presence of a number of biologically active substances that contribute to the normalization of the gastrointestinal tract and maintain vascular health. Oat grains are used in diet food as they do not contain gluten. The germination of oat grains contributes to increasing the content of biologically active substances in it. The proposed method for producing cereal drinks based on oats includes the stages of washing the grains, disinfecting, germinating the grains, obtaining a liquid grain base, stabilizing the structure of the grain base, sterilization, adding flavoring components. The developed technology makes it possible to produce oat-based cereal drinks with a stable structure and improved organoleptic characteristics without additives and with vegetable additives, which are dried chokeberry meal (2 %) and rosehip syrup (16 %). The organoleptic characteristics of the drinks obtained correspond to the requirements of regulatory documentation. Drinks with herbal additives are superior to drinks without additives in taste, aroma, color and texture. The storage capacity of drinks established in the course of microbiological examination and analysis of viscosity and acidity is five days.

### For citation

Yerofejeva, A. V. et al. 2023. Producing plant-supplemented oat-based beverages. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 249–256. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-249-256.

## Введение

В настоящее время актуальна разработка продуктов здорового питания с добавлением функциональных компонентов, благоприятно влияющих на физиологические функции организма. Напитки функционального назначения составляют значительную часть рациона современного человека. Особый интерес представляют напитки из зерновых культур (*Меренкова и др., 2018*), так как они являются заменителями молока в рационе людей, не употребляющих молочную продукцию по вкусовым предпочтениям или имеющих медицинские противопоказания.

В качестве сырья в технологии получения зерновых напитков используются рожь, пшеница, ячмень, гречиха, овес. Напитки на основе овса имеют оптимальный состав по содержанию белков, жиров, углеводов. Овсяная крупа содержит аминокислоты, идентичные мышечным белкам; содержание белка в овсе сравнимо с содержанием белка в гречихе. В состав экстрактов овса входят лизин; триптофан; витамины В<sub>1</sub>, В<sub>2</sub>, В<sub>6</sub>, К; каротин; никотиновая и пантотеновая кислоты; эфирные масла; сера; железо; фтор; цинк; йод; марганец; магний; хром; амилаза; тереостатины, влияющие на деятельность щитовидной железы (*Чекина и др., 2016*). Зерно овса содержит антиоксиданты (токоферол, токоτριенол, авенантрамид), пищевые волокна ( $\beta$ -глюканы и арабиноксиланы), применяемые в функциональном питании (*Баталова, 2018*). Бета-глюканы овса имеют более высокую молекулярную массу, чем бета-глюканы ячменя. Благодаря разветвленной структуре, в воде растворяется около 70 %  $\beta$ -глюкана овса, в то время как  $\beta$ -глюканы ячменя растворимы в воде только на 15–20 %. Содержание  $\beta$ -D-глюкана в целом зерне составляет 3,4 %, а в продуктах переработки зерна – 2,9–4,3 %; наибольший процент  $\beta$ -D-глюкана содержится в периферийных частях зерна (*Лоскутов и др., 2017; Kale, 2014*).

Напитки из зерна овса лучше усваиваются организмом человека по сравнению с напитками из других зерновых, поэтому необходимо расширять их ассортимент и добиваться наиболее полного перехода полезных компонентов из зерна овса в напиток.

Целями настоящей работы являются разработка способа получения напитков на овсяной основе с растительными добавками и определение оптимального соотношения рецептурных компонентов для их получения.

## Материалы и методы

В ходе исследования использовался овес посевной; влажность зерна определяли согласно рекомендациям ГОСТ 13586.5-2015.

Зерновую основу напитков получали следующим образом:

- проводили обработку зерна с использованием дезинфицирующих растворов перекиси водорода (2 %) и перманганата калия (0,1 %) (*Ходунова и др., 2017*);
- подготовленные зерна овса проращивали при температуре 25–30 °С в течение 25–30 ч;
- пророщенное зерно измельчали до состояния кашицы; добавляли негазированную минеральную воду "Раифский источник" и отфильтровывали твердую фракцию.

Тепловую обработку зерновой основы выполняли в различных режимах: пастеризация при  $t = 85$  °С с выдержкой 20 мин; стерилизация горячим паром в течение 10 мин; стерилизация при  $t = 95$  °С в течение 20 мин. В качестве структурообразующего агента применяли крахмал растворимый, крахмал картофельный, овсяное толокно.

Пищевыми добавками являлись шрот аронии или сироп шиповника. Арония черноплодная урожая 2020 г. была собрана в Лаишевском районе Республики Татарстан. Из ягод отжимали сок, выжимки высушивали, измельчали и вносили в зерновую основу в количестве 0,5–2 % от ее объема. Сироп шиповника (ООО "Витамин Продукт") добавляли в количестве 16 % от объема жидкости.

В результате экспериментов получены три напитка: контроль – образец без добавок; напиток 1 – образец с добавлением шрота аронии; напиток 2 – образец с добавлением сиропа шиповника.

Органолептические показатели полученных напитков определяли согласно ГОСТ 28188-2014. Микробиологический анализ напитков проводили в соответствии с рекомендациями ГОСТ 10444.15-94. Титруемую кислотность определяли по методике, представленной в ГОСТ 6687.4-86. Измерение вязкости напитков выполняли с использованием анализатора вязкости (вискозиметра) серии SV-10A (A&D Company Ltd., Япония) при температуре 25 °С.

## Результаты и обсуждение

Для разработки способа получения напитков и их рецептуры использовали зерно овса влажностью  $9,51 \pm 0,33$  %, что соответствует требованиям ГОСТ 28673-2019. Зерно обсеменено микроорганизмами, поэтому для получения напитков необходимо проводить его предварительную дезинфекцию. В качестве дезинфицирующих агентов выбраны 2%-й раствор H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 0,1%-й раствор KMnO<sub>4</sub>; проведен микробиологический анализ зерен овса, результаты которого представлены в табл. 1.

Таблица 1. Микробиологические показатели зерна овса  
Table 1. Microbiological indicators of oat grain

Образец	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	Дрожжи, КОЕ/см <sup>3</sup>	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	Дрожжи, КОЕ/см <sup>3</sup>
	Обработка в течение 20 мин		Обработка в течение 30 мин	
Контроль*	6,7·10 <sup>4</sup>	1,7·10 <sup>4</sup>	3,0·10 <sup>4</sup>	1,1·10 <sup>4</sup>
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> **	5,4·10 <sup>4</sup>	Не обнаружено	Не обнаружено	Не обнаружено
KMnO <sub>4</sub> ***	2,0·10 <sup>4</sup>	Не обнаружено	1,0·10 <sup>4</sup>	Не обнаружено

Примечания. \*Зерно без обработки. \*\*Зерно обработано 2%-м раствором H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. \*\*\*Зерно обработано 0,1%-м раствором KMnO<sub>4</sub>.

Согласно данным, приведенным в табл. 1, при обработке зерна 2%-м раствором перекиси водорода в течение 30 мин получены наилучшие результаты по снижению его обсемененности микроорганизмами.

Обработанное зерно проращивали для активации в нем биохимических изменений. Проращивание сопровождалось увеличением относительного количества пищевых волокон, содержащихся в плодовых и семенных оболочках зерновки, что вызвано разрушением полисахаридов (в основном крахмала). Как показано в работе (Гематдинова и др., 2018), при проращивании в зерне овса увеличивается содержание β-глюкана. Одним из преимуществ β-глюканов зерновых по сравнению с другими пищевыми волокнами является относительно высокая растворимость в воде, что позволяет получить их в большем количестве в пищевых продуктах. Таким образом, полученный экстракт обогащается биологически активными веществами: белками, β-глюканами, жирами, ферментами, витаминами, микро- и макроэлементами. В результате проращивания увеличиваются доля небелкового остатка и содержание лизина, треонина, лейцина, валина, изолейцина и метионина, что свидетельствует о повышении биологической ценности продукта из проросшего зерна (Шариунов и др., 2016). Проростки используют микроэлементы и минеральные вещества из воды, которая применяется для проращивания. Минеральные вещества в проростках связаны с аминокислотами и другими органическими соединениями, поэтому хорошо усваиваются человеческим организмом (Шариунов и др., 2016), что позволяет увеличить функциональные свойства получаемого напитка.

Пророщенное зерно овса измельчали, смешивали с минеральной водой и фильтровали. Минеральную воду использовали как источник макроэлементов. В полученную зерновую основу вносили структурообразующие компоненты, в качестве которых использовали крахмал картофельный, или овсяное толокно, или крахмал растворимый; при этом все образцы имели хорошую консистенцию. В процессе хранения структура образца с добавкой овсяного толокна была нестабильна и расслаивалась, что связано, возможно, с недостаточной тепловой обработкой. Крахмал картофельный и крахмал растворимый в количестве 1,3 % проявляли хорошие стабилизирующие свойства, и в процессе хранения расслаивание структуры напитков не наблюдалось. Для дальнейших исследований был выбран растворимый крахмал как структурообразующий компонент, поскольку он дает более стабильную консистенцию напитку.

При выборе способа тепловой обработки образцы гомогенизировали. Экспериментально исследовались различные режимы тепловой обработки: пастеризация при температуре 85 °С с выдержкой 20 мин; стерилизация горячим паром в течение 10 мин; стерилизация при температуре 95 °С в течение 20 мин. После микробиологического анализа напитков было установлено, что пастеризация не дает положительных результатов и необходима стерилизация. Стерилизация глухим паром и стерилизация при температуре 95 °С значительно снижают обсемененность микроорганизмами, но для дальнейших исследований был выбран более простой режим стерилизации при 95 °С в течение 20 мин.

Для улучшения органолептических свойств напитков были использованы растительные добавки: высушенный шрот аронии, сироп шиповника.

#### Разработка рецептуры напитка 1

Шрот аронии является источником комплекса биологически активных веществ. Он содержит клетчатку, гемицеллюлозу, лигнин, белок; сумма этих компонентов достигает 70 % в пересчете на сухое сырье (Тарасова и др., 2020). Не менее ценны низкомолекулярные соединения: сахара, органические кислоты, состав и соотношение которых определяет вкусовые свойства плодов и ягод. Шрот содержит до 10 % полифенольных соединений, антоциановых пигментов, дубильных веществ, пектиновых веществ, витаминов, макро- и микроэлементов. Вещества, содержащиеся в шроте аронии, оказывают благоприятное влияние на сердечно-сосудистую систему, способствуют укреплению стенок кровеносных сосудов, проявляют Р-витаминную активность. В отличие от высушенного шрота в замороженных ягодах при оттаивании разрушаются витамины, наблюдается потеря дубильных веществ (Тарасова и др., 2020). В работе (Syssoeva et al., 2020) показано, что экстракты из шрота аронии обладают антиоксидантной активностью 1,438 ± 0,051 мг (эквивалент аскорбиновой кислоты/мл).

При разработке рецептуры напитка 1 необходимо было выбрать количество вносимого в зерновую основу шрота аронии (от 0,5 до 2,0 % от ее объема). Органолептические показатели зерновой основы приведены в табл. 2.

Таблица 2. Органолептические показатели зерновой основы с внесенным шротом аронии  
Table 2. Organoleptic characteristics of the grain base with the introduced meal of aronia

Концентрация вносимого шрота, %	Характеристика цвета, вкуса и запаха
0,5 %	Жидкость серого цвета; без вкуса и запаха
1,0 %	Жидкость розового цвета; вкус и аромат фруктовый
2,0 %	Жидкость насыщенного розового цвета; аромат и вкус насыщенный, фруктовый

Согласно полученным данным лучшие показатели имел образец с добавлением шрота аронии в количестве 2,0 %.

#### Разработка рецептуры напитка 2

Альтернативой шроту аронии для придания вкуса напитку и обогащению его состава биологически активными веществами был выбран сироп шиповника. Шиповник превосходит другие растения по содержанию биологически активных веществ. В шиповнике содержатся витамин С (до 3 500 мг%), каротин (8,0); витамины В<sub>1</sub> (0,25); В<sub>2</sub> (0,6); В<sub>3</sub> (1,3); В<sub>9</sub> (0,88); Е (0,69); К (0,4 мг%) (Инюкина и др., 2016). Сироп шиповника вносили на стадии готового напитка по вкусовым предпочтениям в количестве 16 % от объема жидкости.

#### Органолептические и микробиологические показатели напитков 1 и 2

Готовые напитки 1 и 2 представляли собой непрозрачную жидкость без включений, не свойственных продукту, с цветом, ароматом и вкусом, присущими добавкам.

Хранимоспособность напитков оценивали по показателям, которые приведены в табл. 3–4.

Таблица 3. Показатели качества полученных напитков  
Table 3. Indicators of the quality of the received beverages

Образец	Вязкость, мПА·с	Кислотность, град
Готовый напиток		
Контроль	7,5 ± 0,1	6,0 ± 0,0
Напиток 1	16,5 ± 0,2	13,6 ± 0,7
Напиток 2	8,7 ± 0,1	34,0 ± 0,8
Хранимоспособность напитка в течение 5 сут		
Контроль	8,0 ± 0,1	7,0 ± 0,1
Напиток 1	8,7 ± 0,1	19,6 ± 0,4
Напиток 2	8,8 ± 0,1	35,6 ± 0,2
Нормируемый показатель (ГОСТ 28188-2014)	–	В соответствии с рецептурами

В готовом напитке 1 вязкость в два раза выше, чем в напитке 2 и контрольном образце, что, возможно, обеспечивается пектинами, содержащимися в шроте. Кислотность готовых напитков 1 и 2 превышает уровень кислотности контрольного образца в два и пять раз соответственно, что связано с составом вносимых добавок. В процессе хранения титруемая кислотность напитков со шротом аронии возрастает на 6 %, с сиропом шиповника – на 1,6 % по сравнению с готовыми напитками. При этом увеличение титруемой кислотности напитков 1 и 2 при хранении не влияет на их вкус. Микробиологические показатели (табл. 4) напитков соответствовали требованиям нормативной документации.

Таблица 4. Микробиологические показатели полученных напитков  
Table 4. Microbiological indicators of the received beverages

Образец	КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>3</sup>	Дрожжи, КОЕ/см <sup>3</sup>
Готовый напиток		
Контроль	Не обнаружено	Не обнаружено
Напиток 1	Не обнаружено	Не обнаружено
Напиток 2	Не обнаружено	Не обнаружено
Хранимоспособность в течение 5 сут		
Контроль	Не обнаружено	1
Напиток 1	Не обнаружено	Не обнаружено
Напиток 2	2	1
Нормируемый показатель (ТР ТС 021/2011)	Не более 30	Не более 40

Органолептические показатели напитков представлены в виде диаграммы на рисунке.

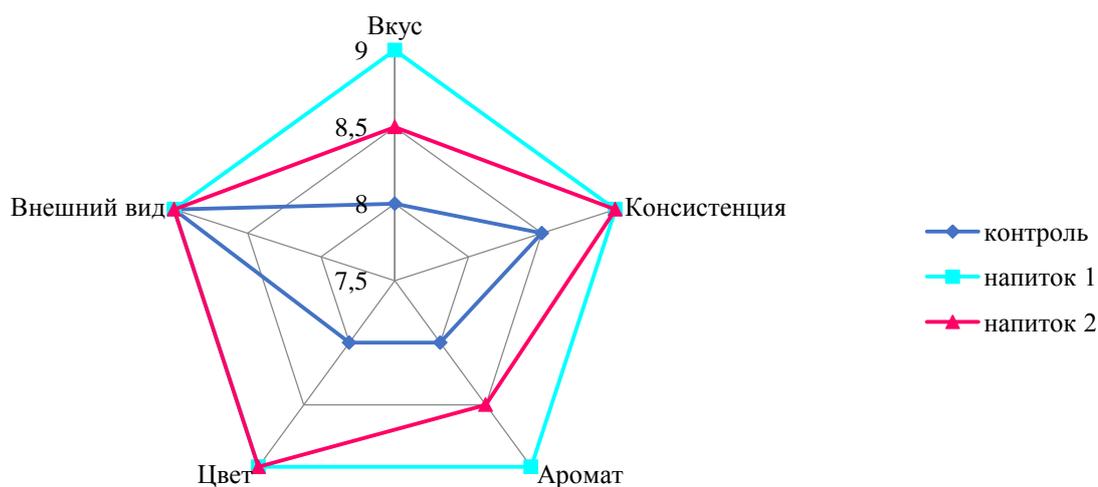


Рисунок. Органолептические показатели полученных напитков  
Figure. Organoleptic indicators of the received beverages

Все напитки имели хороший внешний вид. Напитки 1 и 2 отличались от контрольного образца по вкусу, аромату, цвету и консистенции. Напиток 1 имел насыщенный розовый цвет, ягодный вкус и аромат, более густую консистенцию; напиток 2 был окрашен в желтый цвет; обладал сладким вкусом, цветочным ароматом, густой консистенцией.

Таким образом, в результате проведенных исследований разработаны способ получения и рецептуры напитков на основе зерна овса с улучшенными органолептическими показателями. Напитки отличаются от аналогичных продуктов более высокими функциональными свойствами за счет включения в технологию стадии проращивания зерна. Проращивание зерен позволяет сделать более доступными для усвоения организмом человека биологически активных соединений, содержащихся в зерне овса.

### Заключение

Разработанный способ получения и рецептуры напитков на основе пророщенного овса включают стадии промывки зерен, дезинфекции, проращивания зерен, получения жидкой зерновой основы, стабилизации структуры зерновой основы, стерилизации, внесения вкусовых компонентов.

Напиток, содержащий в рецептуре 2 % шрота аронии, превосходит контрольный образец по органолептическим показателям и имеет ягодный вкус и аромат, насыщенный розовый цвет.

Напиток, содержащий в рецептуре 16 % сиропа шиповника, превосходит контрольный образец по органолептическим показателям и имеет сладкий вкус, фруктовый аромат, желтый цвет.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Баталова Г. А. Селекция овса на качество зерна в Волго-Вятском районе // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 3(27). С. 81–87. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11038. EDN: UZFJSG.
- Гематдинова В. М., Канарская З. А., Канарский А. В. Получение концентрата  $\beta$ -глюкана из овсяных отрубей для функциональных продуктов питания // Пищевая промышленность. 2018. № 3. С. 15–17. EDN: YRHSPK.
- Инюкина Т. А., Горб С. С., Класнер Г. Г. Конструирование напитков для лечебно-профилактического питания работников // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2016. № 1–3. С. 201–209. EDN: XBEMQX.
- Лоскутов И. Г., Полонский В. И. Селекция на содержание  $\beta$ -глюканов в зерне овса как перспективное направление для получения продуктов здорового питания, сырья и фуража. Обзор // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52, № 4. С. 646–657. EDN: WSEYDW.
- Меренкова С. П., Андросова Н. В. Актуальные аспекты производства напитков на растительном сырье // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2018. Т. 6, № 3. С. 57–67. DOI: 10.14529/food180307. EDN: UZMYIK.

- Тарасова Л. Н., Павлова О. Н., Гуленко О. Н., Гондарева Л. Н. Антоцианы шротов калины обыкновенной и аронии черноплодной как модуляторы метаболизма при оксидативном стрессе // Высшая школа : научные исследования / материалы Межвузовского научного конгресса. Уфа. 2020. С. 105–108.
- Ходунова О. С., Силантьева Л. А. Влияние различных способов обработки на микробиологические показатели пророщенных семян овса // Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств. 2017. № 1. С. 3–8. DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-1-3-8. EDN: PDVJHQ.
- Чекина М. С., Меледина Т. В., Баталова Г. А. Перспективы использования овса в производстве продуктов специального назначения // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 43. С. 20–25. EDN: WYCZVP.
- Шаршунов В. А., Урбанчик Е. Н., Шалюта А. Е., Галдова М. Н. Получение биологически активного зернового продукта на основе смесей пророщенного зерна пшеницы и овса голозерного // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. 2016. № 4. С. 118–125. EDN: XWLBVB.
- Kale M., Namaker B., Bordenave N. Oat  $\beta$ -glucans: Physicochemistry and nutritional properties // *Oats Nutrition and Technology* / ed.: Y. Chu. John Wiley & Sons, Ltd, 2013. P. 123–169. DOI. <https://doi.org/10.1002/9781118354100.ch6>.
- Sysoeva M. A., Burmasova M. A., Prozorova I. Sh., Borodina K. O. Choosing a method for obtaining extracts from aronia // *The International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology BFT–2020*, 27–29 October 2020, Russia. Saint Petersburg, 2020. 128 p.

## References

- Batalova, G. A. 2018. Oat breeding in Volga-Vyatka region for grain quality. *Nauchno–proizvodstvennyj zhurnal "Zernobovoye i krupjanye kul'tury"*, 3(27), pp. 81–87. DOI: 10.24411/2309-348X-2018-11038. EDN: UZFJSG. (In Russ.)
- Gematdinova, V. M., Kanarskaya, Z. A., Kanarskiy, A. V. 2018. Obtaining of beta-glucanum concentrate from oat cuts for functional foodstuffs. *Food Industry*, 3, pp. 15–17. EDN: YRHSPK. (In Russ.)
- Inyukina, T. A., Gorb, S. S., Klasner, G. G. 2016. Beverage development for the employees' therapeutical prophylactic nourishment. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk*, 1–3, pp. 201–209. EDN: XBEMQX. (In Russ.)
- Loskutov, I. G., Polonskiy, V. I. 2017. Content of  $\beta$ -glucans in oat grain as a perspective direction of breeding for health products and fodder (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya*, 52(4), pp. 646–657. EDN: WSEYDW. (In Russ.)
- Merenkova, S. P., Androsova, N. V. 2018. Topical aspects of producing beverages based on plant raw material. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Food and Biotechnology*, 6(3), pp. 57–67. DOI: 10.14529/food180307. EDN: UZMYIK. (In Russ.)
- Tarasova, L. N., Pavlova, O. N., Gulenko, O. N., Gondareva, L. N. 2020. Anthocyanins of viburnum vulgaris and aronia chernoplodnaya meal as metabolic modulators under oxidative stress. *Vysshaja shkola: nauchnye issledovaniya*. Coll. of articles of Interuniversity Scientific Congress, Ufa, pp. 105–108. (In Russ.)
- Khodunova, O. S., Silant'eva, L. A. 2017. The effect of different processing methods on the microbiological parameters of germinated oat seeds. *Scientific Journal of the ITMO. Ser. Processes and Food Production Equipment*, 1, pp. 3–8. DOI: 10.17586/2310-1164-2017-10-1-3-8. EDN: PDVJHQ. (In Russ.)
- Chekina, M. S., Meledina, T. V., Batalova, G. A. 2016. Prospects of using oats in production of special purpose products. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*, 43, pp. 20–25. EDN: WYCZVP. (In Russ.)
- Sharshunov, V. A., Urbanchik, E. N., Shalyuta, A. E., Galdova, M. N. 2016. Obtaining biologically active cereal product based on mixtures of sprouted wheat grain and hullless oat. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian Series*, 4, pp. 118–125. EDN: XWLBVB. (In Russ.)
- Kale, M. 2014. Oat  $\beta$ -glucans: Physicochemistry and nutritional properties. In *Oats Nutrition and Technology*. Ed. YiFang Chu, pp. 123–169. DOI.org/10.1002/9781118354100.CH6.
- Sysoeva, M. A., Burmasova, M. A., Prozorova, I. Sh., Borodina, K. O. 2020. Choosing a method for obtaining extracts from aronia. Coll. of articles *The International Scientific Conference on Biotechnology and Food Technology BFT–2020*, 27–29 October 2020, Saint Petersburg, 128 p.

## Сведения об авторах

**Бурмасова Марина Александровна** – ул. К. Маркса, 68, г. Казань, Россия, 420015; Казанский национальный исследовательский технологический университет, канд. хим. наук, доцент; e-mail: m-burmasowa@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7722-9071>

**Marina A. Burmasova** – 68 K. Marx Str., Kazan, Russia, 420015; Kazan National Research Technological University, Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor; e-mail: m-burmasowa@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7722-9071>

**Ерофеева Анастасия Валерьевна** – ул. К. Маркса, 68, г. Казань, Россия 420015;  
Казанский национальный исследовательский технологический университет, магистрант;  
e-mail: [anastasiya.erofeeva@inbox.ru](mailto:anastasiya.erofeeva@inbox.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2842-2865>

**Anastasia V. Yerofejeva** – 68 K. Marx Str., Kazan, Russia, 420015; Kazan National Research  
Technological University, Master's Student;  
e-mail: [anastasiya.erofeeva@inbox.ru](mailto:anastasiya.erofeeva@inbox.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2842-2865>

**Сысоева Мария Александровна** – ул. К. Маркса, 68, г. Казань, Россия, 420015;  
Казанский национальный исследовательский технологический университет, д-р хим. наук, доцент;  
e-mail: [oxygen1130@mail.ru](mailto:oxygen1130@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1535-8497>

**Maria A. Sysoeva** – 68 K. Marx Str., Kazan, Russia, 420015; Kazan National Research  
Technological University, Dr Sci. (Chemistry), Associate Professor;  
e-mail: [oxygen1130@mail.ru](mailto:oxygen1130@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1535-8497>

## Приложение

## Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 13586.5-2015	Зерно. Метод определения влажности (с поправками). Введ. 2016-07-01. М. : Стандартиформ, 2016.
ГОСТ 28188-2014	Напитки безалкогольные. Общие технические условия (переиздание). Введ. 2016-01-01. М. : Стандартиформ, 2019.
ГОСТ 10444.15-94	Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. Введ. 1996-01-01. М. : Стандартиформ, 2010.
ГОСТ 6687.4-86	Напитки безалкогольные, квасы, сиропы. Метод определения кислотности (с поправкой). Введ. 1987-07-01. М. : Изд-во стандартов, 1998.
ГОСТ 28673-2019	Овес. Технические условия. Введ. 2020-09-01. М. : Стандартиформ, 2019.
ТР ТС 021/2011	Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" (утвержден решением комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г., № 880). М., 2011.

УДК 664.691

## Влияние муки фасоли красной продовольственной на реологические свойства макарон

М. С. Марадудин\*, И. В. Симакова, А. М. Марадудин

\*Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского,  
г. Саратов, Россия;

e-mail: [maradudinms@yandex.ru](mailto:maradudinms@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6796-1901>

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
31.05.2023;

получена  
после доработки  
24.07.2023;

принята к публикации  
14.08.2023

### Ключевые слова:

крупка,  
пшеница,  
мука,  
фасоль красная,  
композитная смесь,  
реологические свойства,  
макаронны

Бобовые культуры, в частности фасоль, существенно отличаются от злаковых содержанием белка, аминокислот, микро- и макроэлементами, таким образом. можно утверждать, что добавление в композитную смесь фасоли позволит улучшить нутриентный состав и использовать конечные продукты (макаронны или хлебобулочные изделия) как специализированные с повышенным содержанием белка. Цель работы – изучение влияния муки фасоли красной на реологические свойства теста из композитной смеси на основе крупки пшеницы твердой, а также подтверждение возможности использования данного продукта для производства макарон с повышенным содержанием белка. Влияние фасоли определялось путем установления корреляции между качественными характеристиками компонентов композитной смеси и реологическими свойствами теста на их основе. В качестве объектов исследований взяты крупка пшеницы твердой сорта Краснокутка-13, мука цельносмолотая из фасоли красной продовольственной и композитные смеси на их основе в процентном соотношении: 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50, 40 : 60, 30 : 70, 20 : 80 и 10 : 90, а также макаронны из композитных смесей. Подтверждена целесообразность использования фасольевой муки для производства макаронных изделий. Полученные данные применимы для подготовки и проведения клинических исследований универсальных смесей с повышенным содержанием белка на основе фасольевой муки у пациентов с сахарным диабетом, ожирением, метаболическим синдромом.

### Для цитирования

Марадудин М. С. и др. Влияние муки фасоли красной продовольственной на реологические свойства макарон. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 257–263. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-257-263>.

## Effect of red food bean flour on the rheological properties of pasta

Maxim S. Maradudin\*, Inna V. Simakova, Alexej M. Maradudin

\*Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russia;

e-mail: [maradudinms@yandex.ru](mailto:maradudinms@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6796-1901>

### Article info

Received 31.05.2023;

received  
in revised form  
24.07.2023;

accepted 14.08.2023

### Key words:

cereal,  
wheat,  
flour,  
red beans,  
composite mixture,  
rheological properties,  
pasta

### Abstract

Legumes, in particular beans, differ significantly from cereals in protein content, amino acids, micro- and macroelements, so it can be argued that the addition of beans to the composite mixture will improve the nutrient composition and use the final products (pasta or bakery products) as specialized with increased protein content. The purpose of the work is to study the effect of red bean flour on the rheological properties of dough from a composite mixture based on durum wheat grits, as well as to confirm the possibility of using this product for the production of pasta with high protein content. The influence of beans has been determined by establishing a correlation between the qualitative characteristics of the components of the composite mixture and the rheological properties of the dough based on them. The objects of research are grains of durum wheat variety Krasnokutka-13, whole-ground flour from red food beans and composite mixtures based on them in a percentage ratio: 90 : 10, 80 : 20, 70 : 30, 60 : 40, 50 : 50, 40 : 60, 30 : 70, 20 : 80, and 10 : 90, as well as pasta from composite mixtures. The expediency of using bean flour for the production of pasta has been confirmed. The data obtained are applicable for the preparation and conduct of clinical trials of universal mixtures with high protein content based on bean flour in patients with diabetes mellitus, obesity, and metabolic syndrome.

### For citation

Maradudin, M. S. et al. 2023. Effect of red food bean flour on the rheological properties of pasta. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 257–263. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-257-263>.

## Введение

Важной составляющей "Концепции государственной политики в области здорового питания населения" является создание функциональных, специализированных продуктов питания лечебного и профилактического назначения, основанное на комплексном использовании пищевого сырья (Доктрина продовольственной безопасности РФ, 2010<sup>1</sup>). Изменение рецептурного состава мучных, кондитерских и макаронных изделий позволяет реально и эффективно проводить профилактику различных видов заболеваний, улучшая их пищевую и биологическую ценность за счет частичного или полного исключения продуктов, оказывающих негативное воздействие на здоровье человека (Матвеева и др., 2012; Чугунова и др., 2015; Лукин, 2015; Калинина и др., 2015). Это определяет актуальность исследований, направленных на поиск путей решения данной задачи. Многочисленными исследованиями установлено, что разработка рецептур с добавлением сырья растительного происхождения позволяет повысить не только пищевую ценность, но и укрепить неспецифический иммунитет и антиоксидантную защиту человеческого организма (Поторако и др., 2018; Zlotek et al., 2022). Макароны по сравнению с другими пищевыми продуктами имеют ряд преимуществ, а именно высокую усваиваемость основных питательных веществ, длительный срок хранения, низкую стоимость и доступность для любых слоев населения. Однако сокращение в последние годы в нашей стране объемов выращивания пшеницы твердых сортов привело к необходимости использования производителями хлебопекарной муки из мягкой пшеницы, белок которой имеет дефицит важнейших незаменимых аминокислот. Среди многочисленных способов повышения пищевой и биологической ценности макаронных изделий одним из перспективных является применение муки бобовых культур (Bresciani et al., 2019; Sissons, 2022). Известно, что при использовании растительного сырья происходит обогащение макаронных изделий пищевыми волокнами, органическими кислотами, витаминами и натуральными красителями (Winham et al., 2022). В то же время увеличение содержания сырья растительного происхождения, кроме повышения полезных свойств макаронных изделий, нередко сопровождается ухудшением структурно-механических и варочных свойств макаронных изделий (Осипова и др., 2010; Изтаев и др., 2018). Следовательно, при любом применении нетрадиционного сырья следует учитывать его влияние на физиологические, химические характеристики макаронных изделий, изменение их свойств в процессе и после варки, а также изменение сроков их хранения (Фазуллина и др., 2019; Казанцева и др., 2018). Для этого необходимо тщательно исследовать влияние количества добавок бобовой муки на реологические свойства теста из композиционной смеси с подтверждением возможности его использования для производства макарон.

## Объекты и методы

Предметом исследований являлись реологические свойства теста из крупки пшеницы твердой сорта Краснокутка-13, муки семян фасоли красной продовольственной, а также теста и макаронных изделий из композитных смесей на их основе. Выбор пшеницы сорта Краснокутка-13 обусловлен ее высокими качественными показателями (содержание клейковины в зерне – 38,7 %, размер частиц от 200 до 350 мкм после просеивания через сита № 125 и № 400). Такая крупка наиболее благоприятна для производства макаронных изделий (Осипова, 2013).

Предварительно была проведена оценка основных параметров реологического состояния теста, включая водопоглотительную способность (ВПС, %), время образования теста ( $T_1$ , мин), время стабилизации ( $T_2$ , мин), момент силы во время фазы разжижения ( $C_2$ , Н·м), момент силы, характеризующий максимальную консистенцию теста во время фазы ретроградации крахмала ( $C_5$ , Н·м), а также энергию, поглощенную в процессе тестообразования ( $P$ , Вт·час/кг). Данные параметры определяли в лаборатории качества зерна ФГБНУ НИИСХ Юго-Востока (г. Саратов) на приборе Mixolab (Mixolab, Шопен, Франция) по стандартной методике в соответствии с ГОСТ ISO 17718-2015 "Зерно и мука из мягкой пшеницы. Определение реологических свойств теста в зависимости от условий замеса и повышения температуры"<sup>2</sup>. Полученные результаты реологического состояния теста были сопоставлены с белозной муки, которую определяли с помощью белизомера "БЛИК-РЗ". Корреляцию между исследуемыми показателями устанавливали при помощи программ Microsoft Excel. Критические значения коэффициента корреляции ( $r$ ) на 5%-м уровне значимости выявляли по методике В. М. Доспехова (Доспехов, 1985).

Образцы макарон получали в соответствии со стандартной методикой изготовления макарон для лабораторных исследований. Для этого использовали месилку Свенсона, лабораторный макаронный пресс АМЛ-1, бронзовую матрицу с фторопластовой вставкой (отверстия внешнего диаметра – 5,5 мм, внутреннего – 3,5 мм), кассеты из плексигласа 22×22 см, сушильный шкаф, весы аналитические и технические ВЛТК-500; термостат с водяной рубашкой, позволяющий держать температуру в камере от 30 до 60 °С и относительную влажность воздуха от 54 до 93 %.

<sup>1</sup> Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, 2010 год. URL: <http://kremlin.ru>.

<sup>2</sup> ГОСТ ISO 17718-2015. Зерно и мука из мягкой пшеницы. Определение реологических свойств теста в зависимости от условий замеса и повышения температуры. М., 2018.

Работу проводили в следующей последовательности. Навеску макаронной крупки из твердой пшеницы или композитной смеси на ее основе с добавлением муки фасоли определенной концентрации, равную 100 г, помещали в месилку. Затем, добавляя теплую (65–69 °С) воду, доводили влажность макаронного теста до 31–32 %. Общее время замешивания теста – 15 мин. Далее замешенное тесто переносили в тестомесилку макаронного прессы. Тесто выпрессовывали через бронзовую матрицу, отверстия которой снабжены фторопластовыми вставками. Полученные макароны укладывали на стол, нарезали длиной 220 мм и помещали в кассету, емкость которой составляла 18 проб. Диаметр макарон – 5,5 мм.

Сушили макароны кассетным способом в термостате, при начальной температуре в камере 40 °С и относительной влажности от 88 до 93 %. Из 100 г крупки получали 56–60 г сухих макарон. Такое количество макарон достаточно для определения их свойств.

Готовые изделия анализировали по следующим показателям: прочность макаронных изделий, измеряемая на приборе В. И. Строгонова, коэффициент увеличения массы и коэффициент увеличения объема макаронных изделий. Последние два показателя необходимы для оценки варочных свойств получаемых образцов, которые обусловлены перечнем физико-химических показателей макаронных изделий по ГОСТ 31743-2017 "Изделия макаронные. Общие технические условия"<sup>3</sup>. Данные показатели определяли в соответствии с методиками ГОСТ 31964-2012 "Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества"<sup>4</sup>.

### Результаты и обсуждение

Результаты исследований реологических свойств теста из композитных смесей представлены в табл. 1.

Таблица 1. Реологические параметры теста крупки пшеницы твердой (КПТ) сорта Краснокутка-13, муки фасоли красной продовольственной (МФК) и композитных смесей на их основе  
Table 1. Rheological parameters of the dough of solid wheat grits (SWG) of Krasnokutka-13 grade, red food bean flour (RFB) and composite mixtures based on them

№ п/п	Образец композитной смеси	Белизна муки, (в ед. прибора)	ВПС, %	$T_1$ , мин	$T_2$ , мин	$C_2$ , Н·м	$C_5$ , Н·м	$Pa$ , Вт·час/кг
1	КПТ, 100 %	29,9	60,4	2,48	8,67	0,54	4,43	140,09
2	КПТ 90 % + 10 % МФК	24,5	65,0	2,63	7,98	0,40	4,51	143,37
3	КПТ 80 % + 20 % МФК	23,7	65,7	2,52	3,62	0,34	3,65	125,87
4	КПТ 70 % + 30 % МФК	21,8	68,4	2,85	3,63	0,27	3,51	116,14
5	КПТ 60 % + 40 % МФК	21,7	68,5	3,42	3,83	0,27	3,18	109,42
6	КПТ 50 % + 50 % МФК	19,9	66,5	3,40	3,87	0,29	3,17	109,43
7	КПТ 40 % + 60 % МФК	22,0	66,7	3,28	4,80	0,26	3,05	102,27
8	КПТ 30 % + 70 % МФК	20,1	65,4	3,15	5,48	0,28	2,49	87,56
9	КПТ 20 % + 80 % МФК	22,6	65,6	1,52	4,35	0,35	0,02	62,79
10	КПТ 10 % + 90 % МФК	23,0	66,0	1,35	2,88	0,40	0,21	64,93
11	МФК 100 %	21,5	61,2	1,08	2,95	0,42	0	55,25
12	<i>K-т коррел. по белизне</i>	<i>1,0</i>	<i>0,35</i>	<i>0,04</i>	<i>0,49</i>	<i>0,68</i>	<i>0,14</i>	<i>0,25</i>
13	<i>K-т коррел. по ВПС</i>	<i>–</i>	<i>1,0</i>	<i>0,26</i>	<i>0,20</i>	<i>0,74</i>	<i>0,01</i>	<i>0,0</i>

Полученные данные (табл. 1) подтвердили влияние содержания муки фасоли на реологические свойства теста из композитных смесей из крупки пшеницы твердой и муки фасоли. Однако не для всех показателей корреляция между белизной, водопоглотительной способностью и реологическими свойствами имела значимый характер (при 5 % уровне значимости  $r = 0,553$  (Доспехов, 1985)).

Установлено, что с увеличением количества муки фасоли в композитной смеси с 10 до 90 % происходит устойчивое снижение показателя белизны от максимального (29,9 единиц для 100 % крупки) до минимального значения (23,0 единицы для варианта с 90 % содержанием муки фасоли).

При этом показатель белизны с высокой степенью коррелируется только со временем стабилизации ( $T_2$ ) и с моментом силы во время фазы разжижения ( $C_2$ ), слабо коррелируется с водопоглотительной способностью (ВПС) и с затратами энергии на процесс тестообразования ( $Pa$ ) и практически не значим для времени образования теста ( $T_1$ ) и для момента силы, характеризующего максимальную консистенцию теста во время фазы ретроградации крахмала ( $C_5$ ).

Также установлено, что с увеличением количества муки фасоли в композитной смеси с 10 до 90 %, изменение водопоглотительной способности носит несущественный характер. Разница между максимальными и минимальными значениями составила всего 5,0 %. В то же время для композитных смесей на основе муки пшеницы высшего сорта и муки тритикале эта разница была намного значительней (например, для смесей

<sup>3</sup> ГОСТ 31743-2017. Изделия макаронные. Общие технические условия. М., 2019.

<sup>4</sup> ГОСТ 31964-2012. Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества. М., 2014.

из муки пшеницы с мукой фасоли красной увеличение ВПС составило 13,6 %, а для смесей из муки тритикале с мукой фасоли красной – 8,3 %) (Марадудин и др., 2020; 2021).

В отличие от ранее полученных результатов влияния содержания муки фасоли на реологические свойства композитных смесей с мукой пшеницы и тритикале высокая степень корреляции водопоглотительной способности отмечается только с моментом силы во время фазы разжижения ( $C_2$ ).

Изменение же момента силы, характеризующей максимальную консистенцию теста во время фазы ретроградации крахмала ( $C_5$ ), и энергии, поглощаемой в процессе тестообразования ( $P$ ), соответствуют ранее полученным зависимостям (Марадудин и др., 2020; 2021).

Пробные образцы полученных макаронных изделий из композитных смесей с различной массовой долей муки фасоли красной продовольственной представлены на фотографиях (рис. 1 и 2).



Рис. 1. Макароны из композитных смесей на основе крупки пшеницы твердой (КПТ) сорта Краснуктка-13 и муки из фасоли красной (МФК) продовольственной: 1 – КПТ 100 %; 2 – КПТ 90 % + МФК 10 %; 3 – КПТ 80 % + МФК 20 %; 4 – КПТ 70 % + МФК 30 %; 5 – КПТ 60 % + МФК 40 %; 6 – КПТ 50 % + МФК 50 %

Fig. 1. Pasta from composite mixtures based on solid wheat grits (SWG) of Krasnokutka-13 grade and red bean flour (RBF) food: 1 – SWG 100 %; 2 – SWG 90 % + RBF 10 %; 3 – SWG 80 % + RBF 20 %; 4 – SWG 70 % + RBF 30 %; 5 – SWG 60 % + RBF 40 %; 6 – SWG 50 % + RBF 50 %



Рис. 2. Макароны из композитных смесей на основе крупки пшеницы твердой (КПТ) сорта Краснуктка-13 и муки из фасоли красной (МФК) продовольственной: 1 – КПТ 40 % + МФК 60 %; 2 – КПК 30 % + МФБ 70 %; 3 – КПТ 20 % + МФК 80 %; 4 – КПТ 10 % + МФК 90 %; 5 – МФК 100 %

Fig. 2. Pasta from composite mixture based on solid wheat grits (SWG) of Krasnokutka-13 grade and red bean flour (RBF) food: 1 – SWG 40 % + RBF 60 %; 2 – SWG 30 % + RBF 70 %; 3 – SWG 20 % + RBF 80 %; 4 – 10 % SWG + 90 % RBF; 5 – RBF 100 %

Показатели качества варочных свойств макаронных изделий из композитных смесей на основе крупки пшеницы твердой и муки фасоли красной приведены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели качества варочных свойств макаронных изделий из композитных смесей на основе крупки пшеницы твердой (КПТ) и муки фасоли красной (МФК)

Table 2. Quality indicators of cooking properties of pasta made from composite mixtures based on solid wheat and red bean flour

№ п/п	Содержание муки фасоли красной в макаронных изделиях, %	Объем сухих макарон. изделий ( $V_1$ ), мл	Объем макарон. изделий после варки ( $V_2$ ), мл	Коэффициент развариваемости	Прочность макарон (по методу Строгонова), $r$	Вес сухого остатка, $r$	Процент сухого остатка
1	КПТ, 100	318	374	1,18	638	0,14	5,6
2	МФК, 10	318	365	1,15	602	0,15	6,0
3	МФК, 20	316	379	1,19	401	0,16	6,4
4	МФК, 30	318	374	1,18	468	0,17	6,8
5	МФК, 40	319	375	1,18	410	0,18	7,2
6	МФК, 50	319	375	1,18	390	0,23	9,2
7	МФК, 60	320	375	1,17	359	0,23	9,2
8	МФК, 70	319	374	1,17	238	0,24	9,6
9	МФК, 80	320	373	1,17	249	0,29	11,6
10	МФК, 90	320	371	1,16	296	0,35	14,0
11	МФК, 100	320	370	1,16	287	0,35	14,0

Как видно из табл. 2, макаронные изделия, приготовленные из композитных смесей, по объему сухих макаронных изделий, объему макаронных изделий после варки и по коэффициенту развариваемости практически не отличаются от макарон, изготовленных из крупки твердой пшеницы. Однако увеличение содержания муки фасоли в макаронных изделиях ведет к увеличению содержания сухих веществ в варочной воде (процент сухого остатка) и снижению прочности сухих макаронных изделий, причем изменение этих параметров пропорционально изменению содержания в композитной смеси муки фасоли.

Таким образом, от внесения определенного количества муки фасоли в композитную смесь зависят структурно-механические и варочные свойства макаронных изделий.

### Заключение

Представленные результаты подтверждают целесообразность использования фасолевого муки для производства макаронных изделий. Полученные данные применимы для подготовки и проведения клинических исследований универсальных смесей с повышенным содержанием белка на основе фасолевого муки у пациентов с сахарным диабетом, ожирением, метаболическим синдромом.

Определены рецептурные соотношения пшеничной муки и муки фасоли, позволяющие в максимальной степени повысить пищевую и биологическую ценность макаронных изделий.

Однако увеличение содержания муки фасоли в макаронных изделиях ведет к увеличению содержания сухих веществ в варочной воде (процент сухого остатка) и снижению прочности сухих макаронных изделий, причем изменение этих параметров пропорционально изменению содержания в композитной смеси муки фасоли.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.
- Изтаев Б. А., Исакова Г. К., Умирзакова Г. А., Магомедов Г. О. Расширение ассортимента макаронных изделий за счет использования комбинированных систем сырья // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2018. Т. 80, № 1. С. 173–180. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-1-173-180>. EDN: YWLILY.
- Казанцева И. Л., Кулеватова Т. Б., Злобина Л. Н. К вопросу применения муки из зерна нута в технологии мучных кондитерских изделий // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 1(25). С. 76–82. EDN: YUVVBE.

- Калинина И. В., Науменко Н. В., Фекличева И. В. Формирование потребительских достоинств хлебобулочных изделий путем внесения дополнительных сырьевых компонентов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2015. Т. 3, № 2. С. 10–17. EDN: TOEEMV.
- Лукин А. А. Перспективы создания хлебобулочных изделий функционального назначения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2015. Т. 3, № 1. С. 95–100. EDN: TFBMGL.
- Марадудин М. С., Симакова И. В., Марадудин А. М. Влияние муки фасоли белой на реологические свойства композитных смесей на основе муки пшеницы и тритикале // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2021. № 3. С. 35–42. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-3-35-42. EDN: DFVYGT.
- Марадудин М. С., Симакова И. В., Смоленцева А. А., Шелкова Я. И. Влияние муки фасоли на реологические и хлебопекарные свойства теста из композитной смеси на основе муки пшеницы // Пищевая промышленность. 2020. № 4. С. 17–21. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10039. EDN: LKPHWU.
- Матвеева Т. В., Корячкина С. Я. Физиологически функциональные пищевые ингредиенты для хлебобулочных и кондитерских изделий. Орел : Госуниверситет – УНПК, 2012. 947 с.
- Осипова Г. А. Теоретическое и экспериментальное обоснование разработки новых видов макаронных изделий повышенной пищевой ценности. Орел : Госуниверситет – УНПК, 2013. 298 с.
- Осипова Г. А., Корячкина С. Я., Волчков А. Н. Способы повышения биологической ценности макаронных изделий. Орел, 2010. 159 с.
- Потороко И. Ю., Паймулина А. В., Ускова Д. Г., Калинина И. В. Научные и практические аспекты технологий продуктов питания функциональной направленности // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2018. Т. 6, № 1. С. 49–59. DOI: <https://doi.org/10.14529/food180106>. EDN: YRZBIU.
- Фазуллина О. Ф., Смирнов С. О. Использование растительных обогащающих добавок при производстве макаронных изделий: литературный обзор // Вестник МГТУ. 2019. Т. 22, № 3. С. 449–457. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-3-449-457>. EDN: IWUGXQ.
- Чугунова О. В., Пастушкова Е. В. Моделирование органолептических показателей хлеба с растительными добавками // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Пищевые и биотехнологии. 2015. Т. 3, № 4. С. 80–87. DOI: <https://doi.org/10.14529/food150411>. EDN: VDMRYR.
- Bresciani A., Marti A. Using pulses in baked products: Lights, shadows, and potential solutions // Foods. 2019. Vol. 8, Iss. 10. Article number: 451. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods8100451>.
- Sissons M. Development of novel pasta products with evidence based impacts on health – A review // Foods. 2022. Vol. 11, Iss. 1. Article number: 123. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11010123>.
- Winham D. M., Thompson S. V., Heer M. M., Davitt E. D. [et al.]. Black bean pasta meals with varying protein concentrations reduce postprandial glycemia and insulinemia similarly compared to white bread control in adults // Foods. 2022. Vol. 11, Iss. 11. Article number: 1652. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11111652>.
- Złotek U., Jakubczyk A., Gawlik-Dziki U. Antioxidant in food safety and sustainability // Foods. 2022. Vol. 11, Iss. 3. Article number: 433. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11030433>.

## References

- Dospekhov, B. A. 1985. Field experience methodology (with the basics of statistical processing of research results). Moscow. (In Russ.)
- Iztaev, B. A., Iskakova, G. K., Umirzakova, G. A., Magomedov, G. O. 2018. Expanding the range of pasta products through the use of combined raw material systems. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 80(1), pp. 173–180. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2018-1-173-180>. EDN: YWLILY. (In Russ.)
- Kazantseva, I. L., Kulevatova, T. B., Zlobina, L. N. 2018. On the use of chickpea flour in flour confectionery technology. *Legumes and Groat Crops*, 1(25), pp. 76–82. EDN: YUVVBE. (In Russ.)
- Kalinina, I. V., Науменко, N. V., Feklicheva, I. V. 2015. The formation of consumer advantages of bakery products by introducing additional raw materials. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 3(2), pp. 10–17. EDN: TOEEMV. (In Russ.)
- Lukin, A. A. 2015. Prospects for the creation of bakery products of functional purpose. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 3(1), pp. 95–100. EDN: TFBMGL. (In Russ.)
- Maradudin, M. S., Simakova, I. V., Maradudin, A. M. 2021. Influence of white bean flour on the rheological properties of composite mixtures based on wheat flour and triticale. *Technologies of the Food and Processing Industry of the Agro-industrial Complex – Healthy Food Products*, 3, pp. 35–42. DOI: 10.24412/2311-6447-2021-3-35-42. EDN: DFVYGT. (In Russ.)

- Maradudin, M. S., Simakova, I. V., Smolentseva, A. A., Shelkova, Ya. I. 2020. Influence of bean flour on the rheological and bakery properties of dough made from a composite mixture based on wheat flour. *Food Industry*, 4, pp. 17–21. DOI: 10.24411/0235-2486-2020-10039. EDN: LKPHWU. (In Russ.)
- Matveeva, T. V., Koryachkina, S. Ya. 2012. Physiologically functional food ingredients for bakery and confectionery products. *Oryol*. (In Russ.)
- Osipova, G. A. 2013. Theoretical and experimental substantiation of the development of new types of pasta with increased nutritional value. *Oryol*. (In Russ.)
- Osipova, G. A., Koryachkina, S. Ya., Volchkov, A. N. 2010. Methods of increasing the biological value of pasta. *Oryol*. (In Russ.)
- Potorako, I. Yu., Paimulina, A. V., Uskova, D. G., Kalinina, I. V. 2018. Scientific and practical aspects of functional food technologies. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 6(1), pp. 49–59. DOI: <https://doi.org/10.14529/food180106>. EDN: YRZBIU. (In Russ.)
- Fazullina, O. F., Smirnov, S. O. 2019. The use of herbal enrichment additives in the production of pasta: A literary review. *Vestnik of MSTU*, 22(3), pp. 449–457. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2019-22-3-449-457>. EDN: IWUGXQ. (In Russ.)
- Chugunova, O. V., Pastushkova, E. V. 2015. Modeling organoleptic indicators of bread with vegetable additives. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 3(4), pp. 80–87. DOI: <https://doi.org/10.14529/food150411>. EDN: VDMRYR. (In Russ.)
- Bresciani, A., Marti, A. 2019. Using pulses in baked products: Lights, shadows, and potential solutions. *Foods*, 8(10). Article number: 451. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods8100451>.
- Sissons, M. 2022. Development of novel pasta products with evidence based impacts on health – A review. *Foods*, 11(1). Article number: 123. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11010123>.
- Winham, D. M., Thompson, S. V., Heer, M. M., Davitt, E. D. et al. 2022. Black bean pasta meals with varying protein concentrations reduce postprandial glycemia and insulinemia similarly compared to white bread control in adults. *Foods*, 11(11). Article number: 1652. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11111652>.
- Złotek, U., Jakubczyk, A., Gawlik-Dziki, U. 2022. Antioxidant in food safety and sustainability. *Foods*, 11(3). Article number: 433. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11030433>.

#### Сведения об авторах

**Марадудин Максим Серафимович** – ул. Большая Казачья, 112, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, канд. техн. наук, доцент; e-mail: [maradudinms@yandex.ru](mailto:maradudinms@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6796-1901>

**Maxim S. Maradudin** – 112 Bolshaya Kazach'ya, Saratov, Russia, 410012; Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: [maradudinms@yandex.ru](mailto:maradudinms@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6796-1901>

**Симакова Инна Владимировна** – ул. Большая Казачья, 112, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный медицинский университет им. В. И. Разумовского, д-р техн. наук, профессор; e-mail: [simakovaiv@yandex.ru](mailto:simakovaiv@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0998-8396>

**Inna V. Simakova** – 112 Bolshaya Kazach'ya, Saratov, Russia, 410012; Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: [simakovaiv@yandex.ru](mailto:simakovaiv@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0998-8396>

**Марадудин Алексей Максимович** – пр. Столыпина, 4, стр. 3, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, канд. техн. наук, доцент; e-mail: [zerocool23@yandex.ru](mailto:zerocool23@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9092-9299>

**Alexej M. Maradudin** – 4/3 Stolypina Ave., Saratov, Russia, 410012; N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: [zerocool23@yandex.ru](mailto:zerocool23@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9092-9299>

УДК 664.959.5:665.211

## Разработка методологии создания технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов

Б. Ф. Петров

*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;*  
*e-mail: petrovbf@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9222-8437>*

### Информация о статье

### Реферат

Поступила  
в редакцию  
09.06.2023;

получена  
после доработки  
28.06.2023;

принята к публикации  
29.06.2023

### Ключевые слова:

рыбный жир,  
жировая пенная масса,  
соапсток,  
прямая эмульсия,  
концентрат жирных  
кислот,  
технические продукты

Развитие производства рыбных жиров в России требует решения ряда экологических вопросов; необходима разработка технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов. В настоящее время данная проблема остается нерешенной. В ходе исследования определены физико-химические свойства жиросодержащих объектов (полуфабриката технического рыбного жира с кислотным числом свыше 20 единиц; соапстока после рафинации рыбных жиров; жировой пенной массы после флотационной очистки производственных сточных вод производства рыбных жиров) и установлены рациональные направления их использования. Отмечено, что указанные объекты содержат липиды с высокой степенью гидролиза и непредельности. Разработанная методология создания частных технологий переработки технических рыбных жиров и жировых отходов в целевые продукты технического назначения позволяет получать из объектов исследования дисперсную систему "масло в воде" и концентрат жирных кислот. Полученные продукты могут быть использованы в качестве основы для производства антиадгезионных, поверхностно-активных, пленкообразующих и антифрикционных технических реагентов для различных отраслей промышленности (в том числе пищевой промышленности).

### Для цитирования

Петров Б. Ф. Разработка методологии создания технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 264–271. DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-264-271.

## Development of methodology for creating technologies for processing low-grade semi-finished products of fish oils and fatty waste

Boris F. Petrov

*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;*  
*e-mail: petrovbf@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9222-8437>*

### Article info

### Abstract

Received  
09.06.2023;

received  
in revised  
28.06.2023;

accepted  
29.06.2023

### Key words:

fish oil,  
fatty foam mass,  
soap stock, oil-in-water  
emulsion, fatty acid  
concentrate,  
technical products

The development of fish oil production in Russia requires solving a number of environmental issues. It is necessary to develop technologies for processing low-grade semi-finished products of fish oils and fat waste. Currently, this problem remains unresolved. In the course of the study, the physicochemical properties of fat-containing objects (semi-finished product of technical fish oil with acid number of more than 20 units; soap stock after fish oil refining; fatty foam mass after flotation treatment of industrial wastewater from fish oil production) have been determined and rational directions for their use have been established. It is noted that these objects contain lipids with a high degree of hydrolysis and unsaturation. The developed methodology for creating private technologies for processing technical fish oils and fatty wastes into target products for technical purposes makes it possible to obtain an oil-in-water dispersed system and a fatty acid concentrate from the objects of study. The resulting products can be used as a basis for the production of anti-adhesive, surface-active, film-forming and anti-friction technical reagents for various industries (including food industry).

### For citation

Petrov, B. F. 2023. Development of methodology for creating technologies for processing low-grade semi-finished products of fish oils and fat waste. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 264–271. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-264-271.

## Введение

Внедрение малоотходных и безотходных технологий является приоритетным направлением развития рыбной отрасли, обеспечивающим комплексное и рациональное использование сырьевых ресурсов. В основополагающем нормативном документе "Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года"<sup>1</sup> предусмотрена государственная поддержка внедрения на предприятиях рыбной отрасли технологий переработки и использования отходов производства в качестве вторичного сырьевого ресурса.

Отходы при разделывании рыбы, некондиционные и малоценные экземпляры рыб традиционно направляют на выпуск кормовой продукции и рыбного жира. В России функционируют около 30 ведущих предприятий по выпуску рыбного жира; лидирующие позиции занимает Дальневосточный федеральный округ (61,9 % производства рыбного жира), на втором месте – Северо-Западный федеральный округ (27,6 %). В 2022 г. российскими предприятиями было выпущено свыше 9 тыс. т рыбного жира. Однако потребность ряда отраслей промышленности России (сельское хозяйство, рыбоводство, химическая промышленность и т. д.) в рыбных жирах составляет 300 тыс. т в год. До недавнего времени эта потребность закрывалась импортными поставками из США, Великобритании, Франции, Исландии, Норвегии. Сокращение импортных поставок рыбного жира требует расширения его отечественного производства.

Современное производство и очистка рыбного жира от примесей связаны с большим расходом воды и образованием значительного объема производственных стоков. Одним из локальных производственных стоков жиропроизводства является соапсток, который образуется в процессе щелочной нейтрализации полуфабрикатов рыбных жиров. Данный производственный сток представляет собой водно-жировую эмульсию с высоким уровнем содержания натриевых солей жирных кислот – мыл. Соапсток, как правило, не подвергается очистке, а сбрасывается в объединенный производственный сток жиропроизводства.

Соапсток после нейтрализации растительных масел находит применение в качестве депрессаторов для изменения вязкости высоковязких сортов нефти (*Рахимов и др., 2021*); выделенные из соапстока свободные жирные кислоты могут входить в состав шинного регенерата (*Калматаева и др., 2022*), являются сырьем в мыловарении, производстве фармацевтических препаратов, косметики, смазочных материалов и т. д. (*Горелова и др., 2020*).

Объединенный сток представляет собой смесь локальных производственных стоков и содержит в основном жировые вещества, мыла и небольшое количество азотистых и минеральных компонентов. Перед сбросом его подвергают флотационной очистке с целью извлечения загрязняющих веществ. В результате очистки стока образуются пенные жировые продукты, которые направляют на захоронение на специально отведенные полигоны. В результате происходит не только загрязнение окружающей среды, но и потеря жировых компонентов, которые могли бы быть использованы в качестве вторичных сырьевых ресурсов.

Жировые отходы масложировой промышленности и мясоперерабатывающих предприятий находят применение в качестве смазочно-охлаждающей жидкости при обработке металлов (*Губанов и др., 2017*), основы для биодизельного топлива (*Романцова и др., 2021; Способ выделения..., 2021; Antonio et al., 2018; Otero et al., 2021*) и могут быть использованы для получения поверхностно-активных веществ (амидов жирных кислот) при производстве моющих средств, технологических жидкостей, смазочных композиций, ингибиторов атмосферной коррозии и других эксплуатационных материалов (*Гайдар и др., 2023*).

Не менее важной проблемой жиропроизводства в рыбной отрасли является переработка низкосортных полуфабрикатов технических рыбных жиров с повышенным кислотным числом (более 20 единиц). Очистка таких полуфабрикатов требует значительных затрат энергии и вспомогательных материалов. При этом выход очищенного жира не превышает 60 % от массы направляемого полуфабриката. Низкосортные полуфабрикаты жира чаще всего рассматриваются в качестве альтернативного жидкого топлива в котельных (*Штым и др., 2015*) или основы для получения биодизельного топлива (*Valentini et al., 2022; Nguyen et al., 2021*).

Таким образом, для расширения производства рыбных жиров необходимо всесторонне проанализировать его экологические аспекты, изучить физико-химические свойства недоиспользуемых жиросодержащих объектов (низкосортных рыбных жиров и жировых отходов), предложить рациональные способы переработки их в целевые продукты для различных отраслей промышленности.

Целью исследования являлась разработка методологии создания технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов в технические продукты целевого назначения. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: изучение физико-химических свойств объектов

---

<sup>1</sup> Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 08 сентября 2022 г. № 2567-р. URL : <http://government.ru/docs/all/143037/>.

исследования; анализ возможных способов их модификации в продукты целевого назначения и направлений дальнейшего использования.

### Материалы и методы

Объекты исследования были предоставлены жироперерабатывающим предприятием АО "Полярис" (г. Мурманск), специализирующимся на выпуске пищевой, ветеринарной и технической продукции на основе рыбных жиров.

В качестве объектов исследования использовались низкосортный полуфабрикат рыбного жира технического; пенные жировые продукты (жиропеномасса и пеномасса), образующиеся при очистке промышленных сточных вод жиропроизводства методом флотации; soapstock – локальный производственный сток после щелочной нейтрализации полуфабрикатов рыбных жиров.

Химический состав объектов исследования определяли стандартными методами согласно ГОСТ 7636-85<sup>2</sup>. Содержание натриевых мыл в техническом полуфабрикате жира, жиропеномассе и пеномассе определяли по ГОСТ 5480-59<sup>3</sup>, в soapstock – с помощью титрования пробы соляной кислотой сначала в присутствии фенолфталеина, затем метилового красного (Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности<sup>4</sup>). Фракционный состав липидов устанавливали с помощью тонкослойной хроматографии (*Кондрахин и др., 1985*); жирнокислотный состав липидов – с использованием газовой хроматографии в соответствии с ГОСТ 31663-2012<sup>5</sup>.

### Результаты и обсуждение

Исследование химических составов объектов анализа показало, что они являются жиросодержащими объектами с высокой степенью гидролиза липидов (табл. 1), которые могут быть использованы в качестве основы для получения различных технических продуктов.

Таблица 1. Химический состав объектов исследования  
Table 1. Chemical composition of study objects

Объект исследования	Массовая доля, %			Кислотное число продукта, мгКОН/г
	воды	липидов	мыла	
Низкосортный полуфабрикат рыбного жира технического	3,5–16,5	80,2–96,2	Отсутствует	46,9–55,7
Жиропеномасса	20,5–49,5	41,9–70,5	2,7–11,5	32,5–52,9
Пеномасса	41,7–56,3	43,9–54,3	Следы	70,1–80,5
Soapstock	64,8–92,0	3,1–10,7	8,7–16,3	–

В технических продуктах жировая фракция, как правило, представлена свободными жирными кислотами или их производными (глицеридами, метиловыми или этиловыми эфирами, солями жирных кислот – мылами). Указанные соединения препятствуют силам адгезии (антифрикционные смазки), снижают коэффициент трения (антифрикционные смазки), проявляют поверхностно-активные свойства (эмульгаторы, флотационные реагенты), образуют защитные пленки (лакокрасочные, антикоррозионные покрытия), используются в качестве альтернативного жидкого топлива (замена мазута, биодизельное топливо) (*Боева и др. 2004; Мотылева и др., 2012; Чан Тхи Ньюнг, 2013; Мухин и др. 2015; Василевич и др., 2018*). Жировая фракция может быть эмульгирована в виде дисперсной системы "масло в воде" (прямая эмульсия) для равномерного распределения ее по обрабатываемой поверхности либо представлять собой концентрат жирных кислот или их производных (*Петров, 1997*).

Исследованные объекты целесообразно рассматривать в качестве источника жировой фазы для получения дисперсной системы "масло в воде" (прямая эмульсия), так как они содержат 42–96 % липидов. В качестве стабилизатора (эмульгатора) дисперсной системы и дополнительного источника жировой фазы можно использовать soapstock после нейтрализации рыбных жиров, поскольку он содержит 9–16 % натриевых мыл и 3–11 % липидов. Кроме того, soapstock может выступать в качестве самостоятельного технического продукта, так как тоже является дисперсной системой.

<sup>2</sup> ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М., 2010.

<sup>3</sup> ГОСТ 5480-59. Масла растительные и натуральные жирные кислоты. Методы определения мыла. М., 2001.

<sup>4</sup> Руководство по методам исследования, теххимическому контролю и учету производства в масложировой промышленности / ВНИИЖ; под общ. ред. В. П. Ржехина, А. Г. Сергеева. Т. 3. Л. 1964. 494 с.

<sup>5</sup> ГОСТ 31663-2012. Масла растительные и жиры животные. Определение методом газовой хроматографии массовой доли метиловых эфиров жирных кислот. М., 2019.

Анализ фракционного состава липидов низкосортного полуфабриката рыбного жира технического и пенных жировых продуктов свидетельствует о наличии в них 50–64 % триглицеридов и 8–44 % диглицеридов (табл. 2).

Таблица 2. Фракционный состав липидов объектов исследования  
Table 2. Fractional composition of lipids of study objects

Объект исследования	Массовая доля, %			
	триглицеридов	свободных жирных кислот	диглицеридов	моноглицеридов и оксикислот
Низкосортный полуфабрикат рыбного жира технического	59,6–64,0	15,9–27,7	10,2–12,4	4,0–6,4
Жиропеномасса	50,2–58,8	19,0–34,2	8,3–11,9	7,4–10,2
Пеномасса	Отсутствует	50,0–67,6	24,1–43,9	5,1–9,3

Для получения концентратов жирных кислот указанные жиросодержащие объекты необходимо подвергать гидролизу для выделения свободных жирных кислот из глицеридов, а затем отделять гидролизованную жировую фазу от водной. В случае если в жиросодержащем объекте липиды уже находятся в достаточно гидролизованном виде (например, содержание свободных жирных кислот в липидах пеномассы изначально составляет 50–68 %), то их целесообразно не подвергать гидролизу, а сразу направлять на отделение жировой фазы от водной.

Повышенное содержание воды в жировой фазе (свыше 15 %) может снизить ее реакционную способность при последующем получении производных жирных кислот. Поэтому необходимо снижать содержание воды либо в исходных жиросодержащих продуктах, либо в продуктах после гидролиза жира.

Жирнокислотный состав липидов низкосортного полуфабриката рыбного жира технического и пенных жировых продуктов представлен высокомолекулярными полиненасыщенными (37–46 %) и мононенасыщенными (31–38 %) жирными кислотами (табл. 3).

Таблица 3. Жирнокислотный состав липидов объектов исследования  
Table 3. Fatty acid composition of lipids of study subjects

Объект исследования	Массовая доля жирных кислот, %		
	насыщенных	мононенасыщенных	полиненасыщенных
Низкосортный полуфабрикат рыбного жира технического	21,05–22,85	31,5–32,5	45,55–46,45
Жиропеномасса	24,16–26,46	35,45–37,85	37,40–38,60
Пеномасса	21,0–24,0	32,80–35,20	41,30–44,40

В soap-стоке массовая доля полиненасыщенных жирных кислот в среднем составляет: пентаеновых – 25 %, гексаеновых – 31 % (Мукатова, 1994).

Значительное содержание полиненасыщенных жирных кислот в липидах объектов исследования позволяет предположить, что продукты на их основе будут обладать низкой температурой плавления (Ржавская, 1976); способностью к окислительной полимеризации в присутствии катализатора (Семенов, 1958; Yoshihiro et al., 1986) и образованию плотных поверхностно-активных мономолекулярных слоев (Тютюнников и др., 1992); способностью удерживаться на вертикальных поверхностях и биоразлагаемостью (Стрельцов и др., 2009).

Таким образом, целесообразно рассмотреть возможность использования низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров технических и жировых отходов в качестве основы для получения антиадгезионных, поверхностно-активных, пленкообразующих и антифрикционных технических реагентов для различных отраслей промышленности, в том числе пищевой промышленности.

Методология предполагает:

- оценку физико-химических свойств исходного сырья и определение способа его дальнейшей переработки;
- эмульгирование жировой фазы исходного сырья с целью получения дисперсной системы "масло в воде" (прямая эмульсия);
- выделение свободных жирных кислот из глицеридов исходного сырья посредством гидролиза;
- отделение гидролизованной жировой фазы исходного сырья от водной с целью получения концентрата кислот рыбного жира;
- исследование физико-химических свойств полученных продуктов и их апробацию в различных технических направлениях.

Схема разработанной методологии создания частных технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов в целевые продукты технического назначения представлена на рисунке.

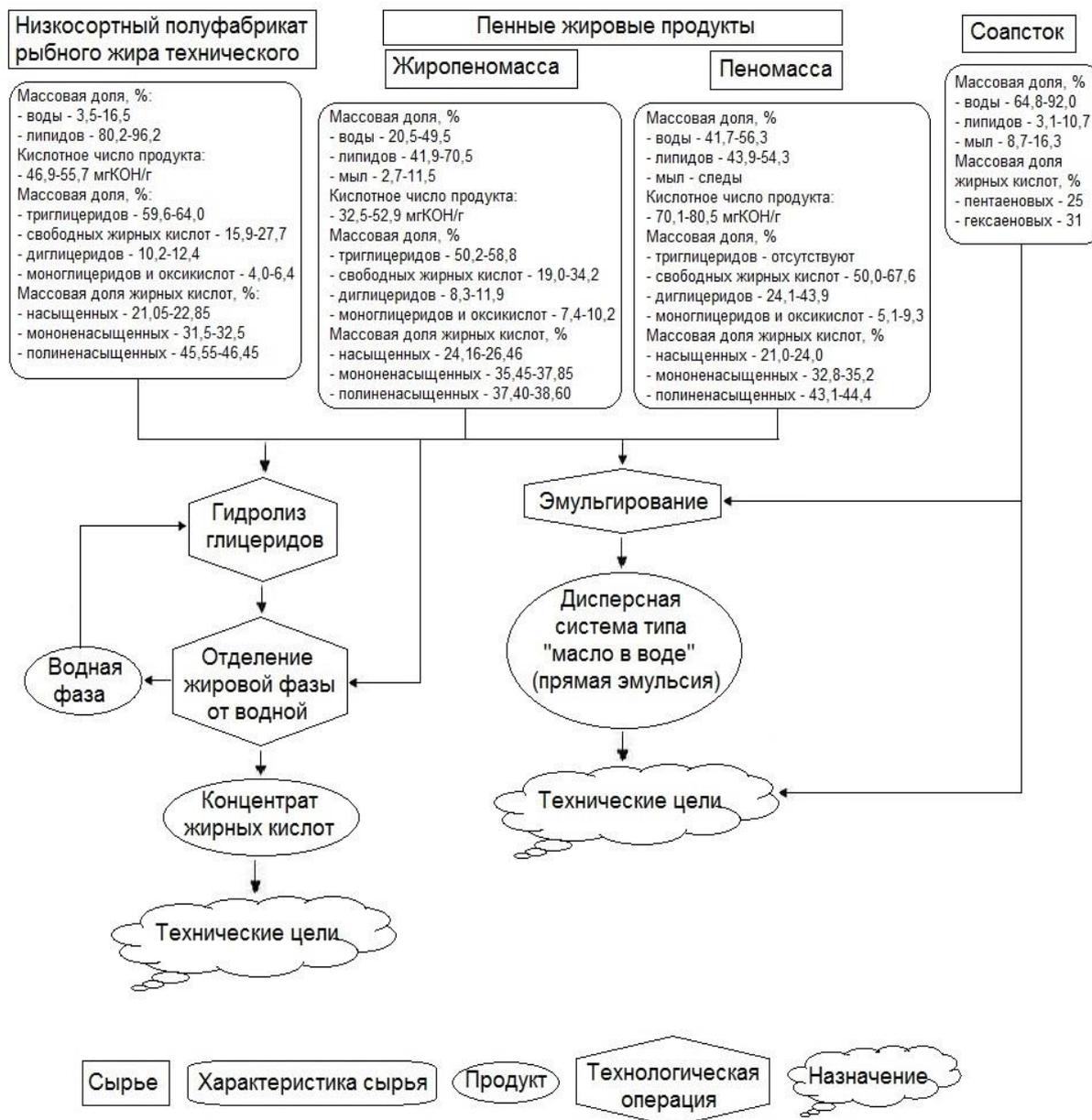


Рис. Методология создания частных технологий переработки технических рыбных жиров и жировых отходов  
 Fig. Methodology for the creation of private technologies for processing of technical fish oils and fat waste

Оценка физико-химических свойств исходного жиросодержащего сырья предусматривает определение в нем следующих показателей: содержания воды, липидов, мыл; кислотного числа продукта; фракционного и жирнокислотного состава липидов. Перечисленные показатели позволяют определить дальнейшее направление переработки и использования исходного жиросодержащего сырья.

Получение дисперсной системы "масло в воде" (прямая эмульсия) возможно путем смешивания жиросодержащих компонентов (низкосортного полуфабриката рыбного жира технического или пенных жировых продуктов) с соапстоком. Наличие в соапстоке значительного количества натриевых мыл будет обеспечивать стабильность получаемой дисперсной системы.

Выделение свободных жирных кислот из липидов жиросодержащего сырья предусматривает сначала гидролиз глицеридов, а затем отделение жировой фазы от водной. Способы осуществления гидролиза липидов весьма разнообразны: ферментативный гидролиз с использованием липазы; щелочное омыление;

кислотный гидролиз; гидролиз с использованием гетерогенных катализаторов – оксидов металлов; безреактивный гидролиз. Отделение жировой фазы от водной фазы предполагает использование реактора с паровой рубашкой и центрифуги (сепаратора).

Получаемые продукты [дисперсная система "масло в воде" (прямая эмульсия) и концентрат жирных кислот] целесообразно апробировать в следующих технических направлениях: производство антиадгезионной и антифрикционной смазок; изготовление технического мыла, получение антикоррозионного или лакокрасочного покрытий.

### **Заключение**

В результате исследования разработана методология создания частных технологий переработки низкосортных полуфабрикатов рыбных жиров и жировых отходов в целевые продукты технического назначения. Объекты анализа следует рассматривать в качестве источников высокомолекулярных непредельных жирных кислот, которые могут найти применение в составе различных технических продуктов в качестве замены традиционно применяемых парафиновых углеводородов нефти и их производных.

### **Конфликт интересов**

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### **Библиографический список**

- Боева Н. П., Бредихина О. В., Бредихин С. А., Бочкарев А. И. К вопросу об утилизации вторичных сырьевых ресурсов рыбной отрасли // Труды ВНИРО. 2004. Т. 143. С. 201–203. EDN: TPFBKJ.
- Василевич В. В., Силин М. А., Губанов В. Б., Мухин М. М. Эмульгаторы на основе рыбных жиров для повышения нефтеотдачи пласта // Труды Российского государственного университета нефти и газа им. И. М. Губкина. 2018. № 2(291). С. 107–117. EDN: UUCANU.
- Гайдар С. М., Пикина А. М., Лапсарь О. М., Голубев И. Г. Разработка технологии переработки жировых отходов в продукты технического назначения // Техника и оборудование для села. 2023. № 3(309). С. 32–35. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-3-32-35>. EDN: WUTRYF.
- Горелова О. М., Куртукова Л. В., Хавкунова М. Н. Поиск путей утилизации отходов в производстве растительных масел // Химия. Экология. Урбанистика. 2020. Т. 1. С. 70–73. EDN: EYGEMR.
- Губанов А. В., Постолов Ю. М., Губанов С. А., Яковлев В. И. [и др.]. Концентрат СОЖ для обработки металлов // Вестник Всероссийского научно-исследовательского института жиров. 2017. № 1–2. С. 79–81. DOI: 10.25812/VNIIG.2017.2017.19533. EDN: YUUANJ.
- Калматаева Г. Н., Сагитова Г. Ф., Трусов В. И., Сакибаева С. А. Получение жирных кислот из соапстока и использование их в рецептуре регенерата // Труды Санкт-Петербургского государственного морского технического университета. 2022. № 3(3). С. 48–60. DOI: [https://doi.org/10.52899/24141437\\_2022\\_03\\_48](https://doi.org/10.52899/24141437_2022_03_48). EDN: ZXOBIY.
- Кондрахин И. П., Курилов Н. В., Малахов А. Г. [и др.]. Клиническая лабораторная диагностика в ветеринарии. М. : Агропромиздат, 1985. 287 с.
- Мотылева Т. А., Петров Б. Ф., Деркач С. Р., Берестова Г. И. [и др.]. Использование рыбного жира в качестве поверхностно-активных веществ в технологических процессах // Вестник МГТУ. 2012. Т. 15, № 1. С. 54–57. EDN: RGQUFF.
- Мукатова М. Д. Научные и практические основы создания малоотходных технологий кормовой продукции из гидробионтов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Москва, 1994. 72 с. EDN: ZLEMLV.
- Мухин М. М., Магадова Л. А., Василевич В. В., Федосеев П. О. [и др.]. Характеристика рыбных жиров, используемых для синтеза ПАВ в нефтяной промышленности // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2015. № 2. С. 32–37. EDN: TIBWZT.
- Петров Б. Ф. Разработка технологических процессов переработки жировых отходов и низкосортных рыбных жиров : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Мурманск, 1997. 26 с. EDN: ZJVCXJ.
- Рахимов Б. Р., Адизов Б. З., Абдурахимов С. А., Аноров Р. А. [и др.]. Использование соапстоков в качестве депрессаторов для изменения вязкости местных нефтей // Universum: технические науки. 2021. № 5–4 (86). С. 82–85. EDN: CCCAXR.
- Ржавская Ф. М. Жиры рыб и морских млекопитающих. М. : Пищевая промышленность, 1976. 470 с.
- Романцова С. В., Гладышева И. В., Вервеккина Н. В., Нагорнов С. А. [и др.]. Расчет физико-химических и эксплуатационных характеристик биодизельного топлива, синтезированного из жидких и твердых жиров // Наука в центральной России. 2021. № 4(52). С. 124–137. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-124-137>. EDN: EVCSMW.
- Семенов Н. Н. О некоторых проблемах химической кинетики и реакционной способности. М. : АН СССР, 1958. 686 с. EDN: ZHGNLH.

- Способ выделения жиромассы из сточных вод и ее подготовки для производства биодизеля: пат. 2749371 Рос. Федерация / Кадревич А. А., Щербакова Ю. А., Зубов М. Г. № 2020127539 ; заявл. 18.08.2020 ; опублик. 09.06.2021, Бюл. № 16.
- Стрельцов В. В., Стребков С. В. Тенденции использования биологических смазочных материалов // Вестник Московского государственного агроинженерного университета им. В. П. Горячкина. 2009. № 2(33). С. 66–69. EDN: KZGPTJ.
- Тютюнников Б. Н., Бухштаб З. И., Гладкий Ф. Ф. [и др.]. Химия жиров. М. : Колос, 1992. 448 с.
- Чан Тхи Ньонг. Глубокая переработка жиродержащих отходов гидробионтов с получением биотоплива : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2013. 24 с.
- Штым К. А., Лесных А. В., Цой К. А. Опыт применения в котельных установках рыбьего жира в качестве альтернативного жидкого топлива // Энергетик. 2015. № 2. С. 22–23. EDN: RKKSMT.
- Antonio D. C., Amancio L. P., Rosset I. G. Biocatalytic ethanolysis of waste chicken fat for biodiesel production // Catalysis Letters. 2018. Vol. 148, Iss. 10. P. 3214–3222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10562-018-2529-7>. EDN: MHPTXL.
- Nguyen T. N., Khoa N. X., Tuan L. A. The correlation of biodiesel blends with the common rail diesel engine's performance and emission characteristics // Energies. 2021. Vol. 14, Iss. 11. Article number: 2986. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14112986>. EDN: REARMB.
- Otero A., Mendoza M., Carreras R., Fernández B. Biogas production from slaughterhouse waste: Effect of blood content and fat saponification // Waste Management. 2021. Vol. 133. P. 119–126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.035>. EDN: BEBQLI.
- Valentini M. H. K., Duarte V. H., Nadaleti W. C., Vieira B. M. Fish oil mixed to castor oil for biodiesel production: antioxidant effects and renewable energy generation // International Journal of Energy and Environmental Engineering. 2022. Vol. 13, Iss. 1. P. 57–65. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00411-2>. EDN: WGIFXI.
- Yoshimura Y., Tanaka H., Tamura K., Ohsaw K. [et al.]. Stability of fish oil as evaluated by oxygen absorption method // Analytical Sciences. 1986. Vol. 2, Iss. 6. P. 581–584. DOI: <https://doi.org/10.2116/analsci.2.581>. EDN: KMPCRJ.

## References

- Boeva, N. P., Bredihina, O. V., Bredihin, S. A., Bochkarev, A. I. 2004. On the utilization of secondary raw materials of the fishing industry. *Trudy VNIRO*, 143, pp. 201–203. EDN: TPFBJK. (In Russ.)
- Vasilevich, V. V., Silin, M. A., Gubanov, V. B., Muhin, M. M. 2018. Fish oil-based emulsifiers for enhanced oil recovery. *Proceedings of Gubkin Russian State University of Oil and Gas*, 2(291), pp. 107–117. EDN: UUCAHU. (In Russ.)
- Gajdar, S. M., Pikina, A. M., Lapsar', O. M., Golubev, I. G. 2023. Development of technology for processing fat waste into technical products. *Machinery and Equipment for Rural Area*, 3(309), pp. 32–35. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-3-32-35>. EDN: WUTRYF. (In Russ.)
- Gorelova, O. M., Kurtukova, L. V., Havkunova, M. N. 2020. Finding ways to dispose of waste in the production of vegetable oils. *Chemistry. Ecology. Urbanistics*, 1, pp. 70–73. EDN: EYGEMR. (In Russ.)
- Gubanov, A. V., Postolov, Yu. M., Gubanov, S. A., Yakovlev, V. I. et al. 2017. A cutting fluid concentrate for metal processing. *Vestnik Vserossijskogo Nauchno-issledovatel'skogo Instituta Zhиров*, 1–2, pp. 79–81. DOI: 10.25812/VNIIG.2017.2017.19533. EDN: YUUANJ. (In Russ.)
- Kalmataeva, G. N., Sagitova, G. F., Trusov, V. I., Sakibaeva, S. A. 2022. Preparation of fatty acids from soapstock and their use in regenerate formulation. *SMTU Transactions*, 3(3), pp. 48–60. DOI: [https://doi.org/10.52899/24141437\\_2022\\_03\\_48](https://doi.org/10.52899/24141437_2022_03_48). EDN: ZXOBIY. (In Russ.)
- Kondrakhin, I. P., Kurilov, N. V., Malahov, A. G. et al. 1985. Clinical laboratory diagnostics in veterinary medicine. Moscow. (In Russ.)
- Motyleva, T. A., Petrov, B. F., Derkach, S. R., Berestova, G. I. et al. 2012. Use of fish oil as surfactants in technological processes. *Vestnik of MSTU*, 15(1), pp. 54–57. EDN: RGQUFF. (In Russ.)
- Mukatova, M. D. 1994. Scientific and practical basis for the creation of low-waste technologies for feed products from hydrobionts. Abstract of Ph.D. dissertation. Moscow. EDN: ZLEMLV. (In Russ.)
- Muhin, M. M., Magadova, L. A., Vasilevich, V. V., Fedoseev, P. O. et al. 2015. Characteristics of fish oils used for the synthesis of surfactants in the petroleum industry. *Environmental Protection in Oil and Gas Complex*, 2, pp. 32–37. EDN: TIBWZT. (In Russ.)
- Petrov, B. F. 1997. Development of processes for processing fat waste and low-grade fish oils. Abstract of Cand. of Sci. dissertation. Murmansk. EDN: ZJVCXJ. (In Russ.)
- Rakhimov, B. P., Adizov, B. Z., Abdurahimov, S. A., Anorov, R. A. et al. 2021. Use of soapstocks as depressants to change viscosity of local oils. *Universum: Technical Sciences*, 5–4(86), pp. 82–85. EDN: CCCAXR. (In Russ.)
- Rzhavskaya, F. M. 1976. Fish and marine mammal fats. Moscow. (In Russ.)

- Romancova, S. V., Gladysheva, I. V., Vervekina, N. V., Nagornov, S. A. et al. 2021. Calculation of physical, chemical and operational characteristics of biodiesel fuel synthesized from liquid and solid fats. *Science in the Central Russia*, 4(52), pp. 124–137. DOI: <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2021-4-124-137>. EDN: EVCSMW. (In Russ.)
- Semenov, N. N. 1958. About some problems of chemical kinetics and reactivity. Moscow. EDN: ZHGNLH. (In Russ.)
- Kadrevich, A. A., Shcherbakova, Yu. A., Zubov, M. G., EKOTECH Research Center LLC (2021), Method for separating fatty mass from wastewater and preparation it for biodiesel production, RU. Pat. 2749371 C1. EDN: OLAJZZ. (In Russ.)
- Strel'cov, V. V., Strebkov, S. V. 2009. Trends in the use of biological lubricants. *Vestnik of Moscow State Agroengineering University named after V. P. Goryachkin*, 2(33), pp. 66–69. EDN: KZGPTJ. (In Russ.)
- Тютюнный, В. Н., Буштаб, З. И., Гладкий, Ф. Ф. et al. 1992. Fat chemistry. Moscow. (In Russ.)
- Chan, Thi N'young. 2013. Deep processing of fat-containing wastes of hydrobionts to obtain biofuels. Abstract of Cand. of Sci. dissertation. Voronezh. EDN: SUTXBD. (In Russ.)
- Shtym, K. A., Lesnyh, A. V., Coj, K. A. 2015. Experience in the use of fish oil as an alternative liquid fuel in boiler plants. *Energetik*, 2, pp. 22–23. EDN: RKKSMТ. (In Russ.)
- Antonio, D. C., Amancio, L. P., Rosset, I. G. 2018. Biocatalytic ethanolysis of waste chicken fat for biodiesel production. *Catalysis Letters*, 148(10), pp. 3214–3222. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10562-018-2529-7>. EDN: MHPTXL.
- Nguyen, T. N., Khoa, N. X., Tuan, L. A. 2021. The correlation of biodiesel blends with the common rail diesel engine's performance and emission characteristics. *Energies*, 14(11). Article number: 2986. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14112986>. EDN: REARMB.
- Otero, A., Mendoza, M., Carreras, R., Fernández, B. 2021. Biogas production from slaughterhouse waste: effect of blood content and fat saponification. *Waste Management*, 133, pp. 119–126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.07.035>. EDN: BEBQLI.
- Valentini, M. H. K., Duarte, V. H., Nadaleti, W. C., Vieira, B. M. 2022. Fish oil mixed to castor oil for biodiesel production: antioxidant effects and renewable energy generation. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 13(1), pp. 57–65. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40095-021-00411-2>. EDN: WGIFXI.
- Yoshimura, Y., Tanaka, H., Tamura, K., Ohsaw, K. et al. 1986. Stability of fish oil as evaluated by oxygen absorption method. *Analytical Sciences*, 2(6), pp. 581–584. DOI: <https://doi.org/10.2116/analsci.2.581>. EDN: KMPCRJ.

#### Сведения об авторе

**Петров Борис Федорович** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, канд. техн. наук, профессор;  
e-mail: [petrovbf@mstu.edu.ru](mailto:petrovbf@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9222-8437>

**Boris F. Petrov** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010;  
Murmansk Arctic University, Cand. Sci. (Engineering), Professor;  
e-mail: [petrovbf@mstu.edu.ru](mailto:petrovbf@mstu.edu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9222-8437>

УДК 639.614.31

## Мониторинг качества рыбы в обеспечении устойчивой безопасности продукции

И. Ю. Резниченко, Е. А. Егушова\*, Т. А. Донченко

\*Кубасская государственная сельскохозяйственная академия, г. Кемерово, Россия;  
e-mail: Egushova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2918-9858>

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
11.05.2023;

получена  
после доработки  
20.07.2023;

принята к публикации  
25.07.2023

### Ключевые слова:

рыба мороженная,  
оценка качества,  
показатели  
безопасности,  
массовая доля глазури,  
массовая доля фосфатов,  
содержание гистамина,  
наличие тяжелых  
металлов

Для обеспечения потребителей качественной и безопасной продукцией, предотвращения поступления на потребительский рынок некачественных и опасных пищевых продуктов предусмотрены программы мониторинга. Приведены результаты мониторинга образцов рыбы мороженой различных семейств и видов за период 2020–2022 гг. Проанализированы на соответствие требованиям нормативных документов маркировка, органолептические показатели образцов рыбы. Определена массовая доля глазури, массовая доля фосфатов в пересчете на  $P_2O_5$ , содержание гистамина, токсичных элементов: свинца, кадмия, ртути, мышьяка. Выявлены недостатки маркировки у 1,3 % образцов. Мелкий, недоступный для прочтения шрифт (менее 9 кеглей) затрудняет потребителю возможность получения полной информации о товаре. Выявлено превышение массовой доли глазури в среднем 0,7–0,8 % в образцах судака. Фактические значения массовой доли фосфатов не превышали предельно допустимых норм. Самое низкое содержание фосфатов отмечено в образцах судака (2,3–2,0 г/кг), самое высокое в горбуше (5,0–4,1 г/кг) и лососе (5,2–4,8 г/кг). Содержание гистамина во всех образцах находилось в пределах нормы. Наименьшее количество гистамина обнаружено в образцах скумбрии (18,0–11,0 мг/кг) и минтая (17,0–11,0 мг/кг), наибольшее в горбуше (25,0–16,0 мг/кг) и сельди (22,0–19,0 мг/кг). Концентрация тяжелых металлов не превышала предельно допустимых значений. Полученные результаты имеют практическую значимость для производителей при разработке маркировки, удовлетворяющей потребительский спрос на информацию о товаре и для потребителей при формировании рациона.

### Для цитирования

Резниченко И. Ю. и др. Мониторинг качества рыбы в обеспечении устойчивой безопасности продукции. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 272–280. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-272-280>.

## Fish quality monitoring for sustainable product safety

Irina Yu. Reznichenko, Elena A. Egushova\*, Tat'yana A. Donchenko

\*Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia;  
e-mail: Egushova@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2918-9858>

### Article info

Received  
11.05.2023;

received  
in revised form  
20.07.2023;

accepted 25.07.2023

### Key words:

frozen fish,  
quality assessment,  
safety indicators,  
mass fraction of glaze,  
mass fraction  
of phosphates,  
histamine content,  
presence  
of heavy metals

### Abstract

To provide consumers with high-quality and safe products, to prevent the entry of low-quality and dangerous food products into the consumer market, monitoring programs are provided. The results of monitoring samples of frozen fish of various families and species for the period 2020–2022 have been given. Labeling, organoleptic indicators of fish samples have been analyzed for compliance with the requirements of regulatory documents. The mass fraction of glaze, the mass fraction of phosphates in terms of  $P_2O_5$ , the content of histamine, toxic elements: lead, cadmium, mercury, arsenic have been determined. Labeling deficiencies are revealed in 1.3 % of the samples. A small, inaccessible font (less than 9 points) makes it difficult for the consumer to obtain complete information about the product. An excess of the mass fraction of glaze on average 0.7–0.8 % in pike perch samples has been revealed. The actual values of the mass fraction of phosphates have not exceeded the maximum allowable limits. The lowest content of phosphates has been noted in samples of pike perch (from 2.3 to 2.0 g/kg), the highest in pink salmon (from 5.0 to 4.1 g/kg) and salmon (5.2–4.7 g/kg). The content of histamine in all samples has been within the normal range. The smallest amount of histamine has been found in samples of mackerel (from 18.0 to 11.0 mg/kg) and pollock (17.0–11.0 mg/kg), the largest in pink salmon (25.0–16.0 mg/kg) and herring (22.0–19.0 mg/kg). The concentration of heavy metals has not exceeded the maximum allowable values. The results obtained are of practical importance for manufacturers in the development of labeling that satisfies consumer demand for information about the product and for consumers in the formation of the diet.

### For citation

Reznichenko, I. Yu. et al. 2023. Fish quality monitoring for sustainable product safety. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 272–280. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-272-280>.

## Введение

В целях определения приоритетных направлений государственной политики в области обеспечения устойчивого качества и безопасности пищевых продуктов, охраны здоровья населения, разработки мер по предотвращению поступления на потребительский рынок некачественных и опасных пищевых продуктов органами государственного надзора проводится мониторинг качества и безопасности пищевых продуктов (Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ (ред. от 13.07.2020) "О качестве и безопасности пищевых продуктов")<sup>1</sup>.

Рыба занимает важное место в потребительской корзине благодаря высокой доли белка, жирных кислот, таких микроэлементов, как железо, селен, йод, фосфор, а также благодаря хорошей усвояемости. Рыба относится к скоропортящимся продуктам, в связи с чем применяют различные стратегии сохранения ее безопасности и качества от вылова до потребления и для увеличения срока хранения, гарантирующего высокие потребительские свойства (*Duarte et al., 2020*).

С ростом интереса потребителей к натуральным пищевым продуктам и полезному для здоровья рациону увеличивается спрос на охлажденную и замороженную рыбу, представленную ритейлом в разнообразном ассортименте<sup>2</sup>. Замороженные рыбопродукты относятся к продуктам здорового питания и рекомендуются для употребления всеми категориями потребителей. Нормы потребления рыбы составляют около 20–22 кг в год (Новые рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов).

Потребительский рынок охлажденной и мороженой рыбы достаточно стабилен. Рыба и рыбная продукция входят в тройку экспортных товаров АПК России. Дальний Восток является основным регионом по добыче рыбы, к 2024 г. намечено увеличение доли экспорта водных биологических ресурсов, включая рыбу (*Шеламова, 2020*). Однако отмечено, что снижение импорта рыбы, особенно лососевых, по итогам 2022 г. на 2–2,5 %, повлияло на рост цен и потребители стали более тщательно относиться к выбору рыбопродуктов. Замещение импортной красной рыбы возможно за счет развития отечественной аквакультуры и внедрения инновационных технологий продления сроков хранения при поддержании стабильных качественных характеристик продукта (*Гусева и др., 2023; Wu et al., 2019*).

Особой популярностью в регионах, далеких от рыбохозяйственных комплексов России, пользуется рыба мороженная.

Охлаждение и заморозка являются наиболее распространенными и эффективными методами консервирования, применяемыми на борту судна, однако замораживание предотвращает не только микробную и ферментативную порчу продукта, но и косвенно запускает физические и биохимические изменения, вызывающие структурные нарушения замороженных морепродуктов, такие как окисление и агрегация белков, окисление липидов, что приводит к изменению текстуры и потере питательных веществ (*Zhu et al., 2021*). Отмечено, что надлежащие условия замораживания и хранения необходимы для поддержания устойчивого качества и должны основываться на видовых характеристиках рыбы и условий ее обработки (*Nakazawa et al., 2020*). Новые технологии предлагают криоконсервацию за счет сочетания связывающих лед и стабилизирующих функций криопротекторов на основе полисахаридов и наноматериалов. В качестве нового метода предложен метод замораживания с радиочастотными волнами. Определено влияние радиоволн на процесс замораживания и качественные характеристики рыбы после размораживания по сравнению с традиционным способом заморозки воздушным потоком (*Hafezparast-Moadab et al., 2018*). Показано, что размеры кристаллов льда оказывают определенное влияние на качество размороженной рыбы. Гистологические тесты, проведенные для исследования микроструктуры замороженной с помощью радиочастотных импульсов рыбы, показали, что размер образовавшихся кристаллов льда значительно уменьшился, что отразилось на снижении потери влаги при размораживании и улучшению текстурных характеристик рыбы. Установлено снижение потерь при размораживании и приготовлении замороженной рыбы при использовании ультразвуковой иммерсионной заморозки (УИФ). Замораживание под действием УИФ снижало подвижность иммобилизованной и свободной воды, так как рыба, обработанная УИФ, имела более мелкие кристаллы льда (*Sun et al., 2019*).

Возрастающий интерес к качеству и подлинности рыбопродуктов, растущий спрос на рыбу длительного хранения, сохранение определенной доли фальсифицированной продукции на потребительском рынке привел к внедрению новых методов, позволяющих легко отслеживать и сохранять свежесть и безопасность на протяжении всего срока годности продукта (производство, хранение, отгрузка и потребление) (*Hassoun et al., 2019*). Развитие технологических инноваций в области создания более надежных методов расчета и анализа свежести отразилось на разработке сенсорных, физических, химических и микробиологических методов, включая последние тенденции, такие как SDS-PAGE (электрофорез в полиакриламидном геле), быстрая белковая жидкостная хроматография, метод гиперспектральной визуализации и т. д., направленные на сокращение времени и трудозатрат (*Radinger et al., 2019; Prabhakar et al., 2020; Ezati et al., 2021*).

<sup>1</sup> Информация о нормативных актах и ГОСТах представлена в Приложении.

<sup>2</sup> Объем рыбного рынка в России в 2022 году. URL: <https://tass.ru/ekonomika/14851545> (дата обращения 30.03.2023).

В связи с отсутствием доступных и простых методов контроля, позволяющих определить повторное замораживание, проведены исследования по изучению изменений, происходящих в мясе рыбы при однократном и двукратном замораживании. Анализ таких показателей, как массовая доля влаги, влагоудерживающая способность, активная кислотность, кислотное число, перекисное число, массовая доля белка, а также реологические свойства (упругость, деформация) и гистологические характеристики мышечной ткани рыбы выявили, что неоднократное замораживание рыбы сопровождается увеличением биохимических показателей, характеризующих сохранность липидной и белковой фракций. Установлены деструктивные процессы в рыбном сырье – снижение упругости мяса и изменение микроструктуры ткани рыб при повторном замораживании (Гусева и др., 2023).

Также отмечена важность разработки новых технологических приемов оценки рыбной продукции на основе методов бионики и повышения селективности и чувствительности биосенсорных методов анализа рыбы (Wu et al., 2019).

Поиск способов контроля качества в цепочке поставок стал первостепенной задачей, поскольку рынок продолжает увеличивать объем упакованных свежих продуктов, особенно морепродуктов. За последние несколько лет проведено множество исследований по разработке индикаторов pH для контроля свежести продуктов (Aghaei et al., 2020; Zhang et al., 2021), так как изменения pH пищи являются первым признаком ее порчи.

Апробированы интеллектуальные pH-чувствительные цветные индикаторные пленки на основе карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ) и целлюлозных нановолокон (ЦНВ), приготовленные с использованием шиконина, экстрагированного из корней *Lithospermum erythrorhizon*. Пленки демонстрировали заметную функцию цветового отклика для различных значений pH, становились красновато-розовыми при pH ниже 7 и красновато-фиолетовыми, пурпурными и светло-голубыми при повышении pH от 7 до 12. При использовании индикаторной пленки для контроля свежести рыбы она имела красновато-розовый цвет для свежей рыбы (pH = 5,7) и становилась сине-фиолетовой через 36 ч, что указывало на то, что рыба испорчена (pH = 6,9) (Ezati et al., 2021).

Исследована возможность применения арабиногалактана для пролонгации сроков хранения охлажденной рыбы до 31 суток. Показано, что обработка поверхности рыбы порошком арабиногалактана в один слой усиливает действие охлаждающего агента (воздушной среды) и обеспечивает продление сроков хранения в 2,6 раза относительно требований нормативной документации (Тимакова и др., 2020).

Флуоресцентная спектроскопия как экспресс-метод неразрушающего контроля качества и подлинности рыбы и рыбных продуктов широко используется в качестве быстрого метода выявления фальсификации (Hassoun et al., 2019).

Предложен галохромный наносенсор на белковой основе для оценки качества и свежести форели. В качестве индикаторного красителя используются нановолокна зеина, содержащие ализарин. Галохромный наносенсор может контролировать свежесть рыбы в режиме реального времени посредством изменения цвета, определяемого с помощью колориметра (Aghaei et al., 2020).

Обеспечение потребителя качественной и безопасной продукцией на основе современных методов анализа предусмотрено программами мониторинга, которые преследуют различные цели, включая подтверждение качества и безопасности в соответствии с требованиями действующих нормативных документов (Краснова и др., 2018; Parra et al., 2018).

Установлено, что замороженная рыба, импортируемая в Белгородскую область, была контаминирована психротрофными микроорганизмами в количествах, превышающих предельно допустимые дозы в 1,4–1,8 раз. Результаты исследований указывают на то, что количество психротрофной микрофлоры, выделенной из рыбы, не соответствует количеству МАФАНМ. Психротрофные бактерии количественно превышают МАФАНМ на несколько порядков, и их количество не зависит от количества мезофильной микрофлоры (Ткачев, 2021).

Программы мониторинга гарантируют надлежащую обработку данных и их хранение, практика мониторинга направлена на выявление опасной продукции и предотвращения ее попадания на потребительский рынок. Также возможность контроля объектов аквакультуры полезна для принятия мер по предотвращению дальнейшего ущерба рыбному производству. На основе результатов мониторинга безопасности разрабатываются рекомендации по совершенствованию методов контроля рыбы и рыбной продукции (Адиатулин и др., 2022; Шеламова, 2020). Проведение микробиологического контроля рыбной продукции и выявление скрытой инфекции актуально не только для обеспечения потребителей безопасной продукцией, но и для производителей, которые стремятся выйти на международный рынок с продукцией, соответствующей требованиям международного уровня.

Цель исследований – оценить показатели качества и безопасности рыбы мороженой различных семейств и видов, реализуемой на потребительском рынке Кемеровской области – Кузбасса в рамках проведения мониторинга.

Задачи исследований: анализ маркировки образцов, исследование органолептических характеристик, физико-химических показателей качества и показателей безопасности.

Объектами исследований являлись закодированные образцы мороженой потрошеной рыбы (лосось, горбуша, минтай, терпуг, судак, скумбрия, сельдь), реализуемой на потребительском рынке, а также в детских дошкольных, школьных учреждениях, летних оздоровительных лагерях Кемеровской области – Кузбасса.

### Материалы и методы

Образцы мороженой потрошеной рыбы были отобраны в рамках реализации Федерального проекта по приказу Роспотребнадзора от 20.05.2021 г. № П-239 "О проведении исследований по мониторингу качества пищевой продукции и оценке доступности населения к отечественной пищевой продукции, способствующей устранению дефицита макро- и микронутриентов в рамках реализации федерального проекта Укрепление общественного здоровья" и доставлены в аккредитованный Испытательный лабораторный центр (ИЛЦ) ФБУЗ "Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области – Кузбассе".

Для оценки качества образцов опирались на требования пункта 3 (гистамин, токсичные) ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции", раздела XI пункта 33 (глазурь), приложения 4 (гистамин) ТР ЭАЭС 040/2016 "О безопасности рыбы и рыбной продукции", приложение 15 (фосфаты) ТР ТС 029/2012 "Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств", ГОСТ 32366-2013 "Рыба мороженая. Технические условия".

Лабораторные исследования по определению массовой доли глазури проводили по ГОСТ 31339-2006; массовую долю фосфатов в пересчете на  $P_2O_5$  – по МУК 4.1.3217-2014, наличие гистамина – согласно ГОСТ 31789-2012. Массовую концентрацию свинца, кадмия – по ГОСТ 33824-2016, массовую концентрацию ртути – по ГОСТ Р 56931-2016, массовую концентрацию мышьяка – по ГОСТ 31628-2012. При отборе проб руководствовались требованиями ГОСТ 31339-2006, ГОСТ 7631-2008. Органолептические и физико-химические показатели оценивали в соответствии с ГОСТ 7631-2008. Идентификацию маркировки образцов проводили на соответствие требованиям ТР ТС 022/2011 "Пищевая продукция в части ее маркировки". При оценке результатов лабораторных исследований для принятия решения о соответствии или несоответствии проб установленным требованиям применяли ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006 "Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы" (п. 6 и 7).

### Результаты и обсуждение

В целях проведения мониторинговых исследований качества и безопасности пищевой продукции всего за 2020–2022 гг. исследовано 96 образцов рыбы мороженой различных семейств (лососевые, терпуговые, окуневые, тресковые, сельдевые, скумбриевые) и видов (терпуг – 12 образцов, судак – 11, минтай – 16, лосось – 13, горбуша – 14, сельдь – 15, скумбрия – 15 образцов), производителей: Хабаровский, Приморский, Петропавловский, Камчатский края; Новосибирская, Кемеровская, Сахалинская, Калужская, Мурманская, Свердловская области; Охотская подзона, г. Магадан, район Курильских островов, Чили, Дания, Аргентина.

Анализ потребительской маркировки образцов рыб показал, что в целом все сведения о продукте, регламентируемые требованиями ТР ТС 022/2011, указаны на индивидуальной этикетке. В качестве недостатка маркировки можно отметить мелкий, недоступный для прочтения шрифт (менее 9 кеглей), что затрудняет возможность получения полной информации потребителем и в свою очередь отражается на конкурентоспособности самого товара (*Резниченко и др., 2016*). Доля образцов, не соответствующих маркировке, составила 1,3 %.

Оценка органолептических показателей, проведенная в соответствии с требованиями ГОСТ 7631-2008, не выявила отклонений во внешнем виде, цвете образцов, наличии подкожного пожелтения. В целом образцы не имели посторонних запахов, включений, изменений цвета, запаха и консистенции, свидетельствующих о порче продукта.

Свежесть – один из основных параметров качества для потребителей. Для сохранения свежести и продления срока хранения рыбы применяется несколько методов, одним из которых является глазирование поверхности рыбы, т. е. нанесение на поверхность замороженной рыбы тонкого слоя льда с целью предохранения ее от потери влаги, прогоркания жира и механических повреждений. Содержание глазури нормируется требованиями стандарта, превышение массовой доли глазури считается количественной фальсификацией рыбы.

Результаты оценки массовой доли глазури показали, что при нормируемом значении не более 5 % фактические значения образцов при погрешности  $\pm 0,7$  % соответствовали нормам, кроме 1 % образцов судака, которые не соответствовали величине допустимого уровня. Превышение допустимого уровня составило в среднем 0,7–0,8 %. Максимальные и минимальные выявленные значения массовой доли глазури в образцах рыбы приведены на рисунке.

Для удержания влаги в рыбе и предотвращения излишних ее потерь при последующей дефростации (размораживании) используют водные растворы полифосфатов, которые вводят в мышечную ткань рыбы. При этом если содержание полифосфатов в продукте превышает разрешенные нормы, принятые Регламентом ТР ТС 029/2012 "Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических

вспомогательных средств", то эта продукция не является безопасной. Некоторые недобросовестные производители используют полифосфаты для увеличения веса рыбы, что считается как количественной (увеличение веса), так и качественной фальсификацией (передозировка фосфатов). Фактическое содержание массовой доли фосфатов в пересчете на  $P_2O_5$  приведено в табл. 1.

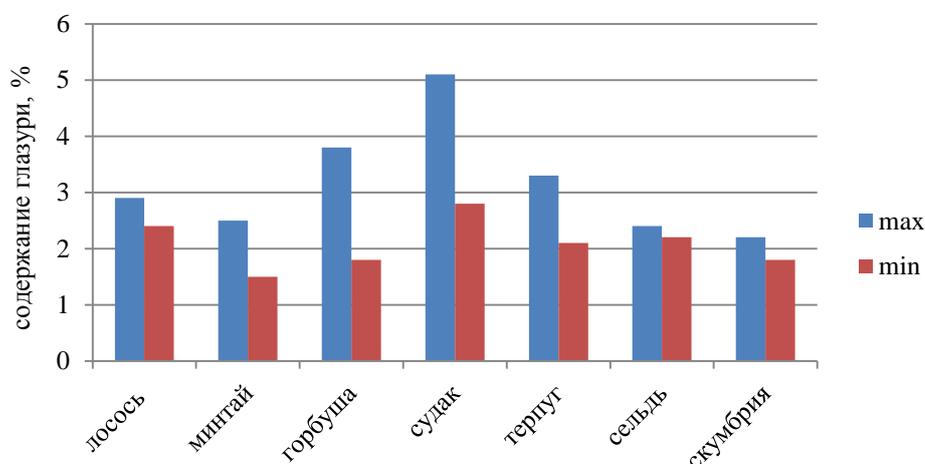


Рис. Массовая доля глазури в анализируемых образцах  
Fig. Mass fraction of glaze in the analyzed samples

Таблица 1. Результаты определения фосфатов в образцах  
Table 1. The results of the determination of phosphates in samples

Наименование образца	Массовая доля фосфатов в пересчете на $P_2O_5$	
	Максимальное значение, г/кг	Минимальное значение, г/кг
Горбуша	$5,0 \pm 0,7$	$4,1 \pm 0,7$
Минтай	$4,5 \pm 0,6$	$4,1 \pm 0,6$
Лосось	$5,2 \pm 0,7$	$4,8 \pm 0,7$
Судак	$2,3 \pm 0,7$	$2,0 \pm 0,7$
Терпуг	$3,3 \pm 5,0$	$2,9 \pm 5,0$
Сельдь	$4,8 \pm 0,7$	$3,6 \pm 5,2$
Скумбрия	$3,7 \pm 5,2$	$3,1 \pm 5,2$

При величине допустимого уровня не более 10,0 г/кг, фактические значения массовой доли фосфатов не превышали предельно допустимых норм и по данному показателю соответствовали установленным требованиям. Самое низкое содержание фосфатов отмечено в образцах судака (от 2,3 до 2,0 г/кг), самое высокое – в горбуше (от 5,0 до 4,1 г/кг) и лососе (5,2–4,8 г/кг).

К специфическим показателям безопасности рыбы семейства лососевых, сельдевых, скумбриевых относится массовая доля гистамина. Гистамин представляет собой биотоксин, который в больших количествах негативно влияет на здоровье человека, вызывая снижение кровяного давления, нарушение деятельности поджелудочной железы, изменение проницаемости кровеносных сосудов, в некоторых случаях тяжелую аллергию. Предел переносимости гистамина для взрослого человека составляет 5–6 мг/кг веса тела. Согласно Техническому регламенту Евразийского экономического союза "О безопасности рыбы и рыбной продукции" (ТР ЕАЭС 040/2016) и "О безопасности пищевой продукции" (ТР ТС 021/2011), предельно допустимая массовая доля гистамина составляет 100 мг/кг. В табл. 2 приведены данные по содержанию гистамина в анализируемых образцах.

Таблица 2. Результаты определения гистамина в образцах  
Table 2. Results of determination of histamine in samples

Образец	Результаты исследований, мг/кг		Величина допустимого уровня
	min	max	
Горбуша	$16,0 \pm 5,1$	$25,0 \pm 8,0$	Не более 100,0 мг/кг согласно пункта 3 ТР ТС 021/2011 и приложения 4 ТР ЕАЭС 040/2016
Лосось	$14,0 \pm 4,5$	$16,0 \pm 5,1$	
Скумбрия	$11,0 \pm 3,5$	$18,0 \pm 5,8$	
Сельдь	$19,0 \pm 6,1$	$22,0 \pm 7,1$	
Минтай	$11,0 \pm 3,4$	$17,0 \pm 5,4$	

Анализ полученных данных свидетельствует о соответствии образцов по содержанию гистамина нормам. Наименьшее количество гистамина обнаружено в образцах скумбрии (от 18,0 до 11,0 мг/кг) и минтая (17,0–11,0 мг/кг), наибольшее – в горбуше (25,0–16,0 мг/кг) и сельди (22,0–19,0 мг/кг).

Результаты анализа массовой концентрации свинца, кадмия, ртути и мышьяка во всех образцах рыбы показали, что их содержание находится в пределах менее, чем предел обнаружения методики. Усредненные данные приведены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты определения токсичных элементов в образцах  
Table 3. Results of determination of toxic elements in samples

Определяемый показатель	Результат исследований	Величина допустимого уровня
Массовая концентрация свинца	Менее предела обнаружения методики 0,02 мг/кг	Не более 1,0 мг/кг
Массовая концентрация кадмия	Менее предела обнаружения методики 0,003 мг/кг	Не более 0,2 мг/кг
Массовая концентрация ртути	0,031 ± 0,012 до 0,218 ± 0,078 мг/кг	Не более 0,5 мг/кг
Массовая концентрация мышьяка	Менее предела обнаружения методики 0,03 мг/кг	Не более 5,0 мг/кг

### Заключение

В результате мониторинга качества и безопасности образцов рыбы выявлены недостатки маркировки в виде мелкого, недоступного для прочтения шрифта (менее 9 кеглей), что затрудняет потребителю возможность получения полной информации о товаре. Доля образцов, не соответствующих маркировке, составила 1,3 %. Выявлено превышение массовой доли глазури в среднем 0,7–0,8 % в образцах судака. Фактические значения массовой доли фосфатов не превышали предельно допустимых норм (не более 10,0 г/кг). Самое низкое содержание фосфатов отмечено в образцах судака (от 2,3 до 2,0 г/кг), самое высокое – в горбуше (от 5,0 до 4,1 г/кг) и лососе (5,2–4,8 г/кг). Содержание гистамина во всех образцах находилось в пределах нормы (не более 100 мг/кг). Наименьшее количество гистамина обнаружено в образцах скумбрии (от 18,0 до 11,0 мг/кг) и минтая (17,0–11,0 мг/кг), наибольшее – в горбуше (25,0–16,0 мг/кг) и сельди (22,0–19,0 мг/кг). Концентрация тяжелых металлов не превышала предельно допустимых значений во всех образцах. Полученные результаты имеют практическую значимость для производителей при разработке маркировки, удовлетворяющей потребительский спрос на информацию о товаре, а также для потребителей для включения качественной и безопасной мороженой рыбы в рацион.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Адиатулин И. Ф., Белоусов В. И., Романенко Е. А., Грудев А. И. Результаты мониторинга безопасности рыбы и рыбной продукции в Российской Федерации // Российский журнал "Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии". 2022. № 3(43). С. 312–319. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202203005>. EDN: ITHTYZ.
- Гусева Т. Б., Солдатова С. Ю., Карнян О. М. Влияние замораживания на изменение качественных характеристик мяса карпа обыкновенного // Пищевая промышленность. 2023. № 3. С. 67–69. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2023.3.3.013>. EDN: ZCSEIN.
- Краснова О. А., Хардина Е. В. Мониторинг качественных характеристик рыбного сырья, производимого на территории Удмуртской Республики // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2018. Т. 235, № 3. С. 110–115. DOI: <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-235-3-110-115>.
- Резниченко И. Ю., Хохлова Н. В., Торошина Т. А., Тихонова О. Ю. [и др.]. Влияние маркировки на конкурентоспособность товара // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. 2016. № 2(37). С. 113–119. EDN: VTRCYB.
- Тимакова Р. Т., Тихонов С. Л., Тихонова Н. В. Исследование возможности применения арабиногалактана для хранения охлажденной рыбы // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 10. С. 106–110. DOI: [10.24411/0235-2451-2020-11017](https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-11017). EDN: VOFTIP.
- Ткачев А. В. Ветеринарно-санитарная оценка замороженной рыбы, импортируемой в Белгородскую область // Международный вестник ветеринарии. 2021. № 1. С. 149–154. EDN: KNXHXK.
- Шеламова Н. А. Развитие экспортного потенциала и инфраструктуры рыболовства Дальнего Востока // Экономика сельского хозяйства России. 2020. № 6. С. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.32651/206-62>. EDN: EZCAVT.

- Aghaei Z., Ghorani B., Emadzadeh B., Kadkhodae R. [et al.]. Protein-based halochromic electrospun nanosensor for monitoring trout fish freshness // *Food Control*. 2020. Vol. 111. Article number: 107065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107065>.
- Duarte A. M., Silva F., Pinto F. R., Barroso S. [et al.]. Quality assessment of chilled and frozen fish – mini review // *Foods*. 2020. Vol. 9, Iss. 12. P. Article number: 1739. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9121739>.
- Ezati P., Priyadarshi R., Bang Y.-J., Rhim J.-W. CMC and CNF-based intelligent pH-responsive color indicator films integrated with shikonin to monitor fish freshness // *Food Control*. 2021. Vol. 126. Article number: 108046. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108046>.
- Hafezparast-Moadab N., Hamdami N., Dalvi-Isfahan M., Farahnaky A. Effects of radiofrequency-assisted freezing on microstructure and quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet // *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018. Vol. 47. P. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.12.012>.
- Hassoun A., Saharb A., Lakhal L., Aït-Kaddour A. Fluorescence spectroscopy as a rapid and non-destructive method for monitoring quality and authenticity of fish and meat products: Impact of different preservation conditions // *LWT*. 2019. Vol. 103. P. 279–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.021>.
- Nakazawa N., Okazaki E. Recent research on factors influencing the quality of frozen seafood // *Fisheries Science*. 2020. Vol. 86. P. 231–244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12562-020-01402-8>.
- Parra L., Rocher J., Escrivá J., Lloret J. Design and development of low cost smart turbidity sensor for water quality monitoring in fish farms // *Aquaculture Engineering*. 2018. Vol. 81. P. 10–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.01.004>.
- Prabhakar P. K., Vatsa S., Srivastav P. P., Pathak S. S. A comprehensive review on freshness of fish and assessment: Analytical methods and recent innovations // *Food Research International*. 2020. Vol. 133. Article number: 109157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109157>.
- Radinger J., Britton J. R., Carlson S. M., Magurran A. E. Effective monitoring of freshwater fish // *Fish and Fisheries*. 2019. Vol. 20, Iss. 4. P. 729–747. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12373>.
- Sun Q., Zhao X., Zhang C., Xia X. [et al.]. Ultrasound-assisted immersion freezing accelerates the freezing process and improves the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) at different power levels // *LWT*. 2019. Vol. 108. P. 106–112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.042>.
- Wu L., Pu H., Sun D. W. Novel techniques for evaluating freshness quality attributes of fish: A review of recent developments // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 83. P. 259–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.002>.
- Zhang W., Ma J., Sun D.-W. Raman spectroscopic techniques for detecting structure and quality of frozen foods: Principles and applications // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2021. Vol. 61, Iss. 16. P. 2623–2639. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1828814>.
- Zhu S., Yu J., Chen X., Zhang Q. [et al.]. Dual cryoprotective strategies for ice-binding and stabilizing of frozen seafood: A review // *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 111. P. 223–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.069>.

## References

- Adiatulin, I. F., Belousov, V. I., Romanenko, E. A., Grudev, A. I. 2022. The results of monitoring the safety of fish and fish products in the Russian Federation. *Russian journal "Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology"*, 3(43), pp. 312–319. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hygecol.202203005>. EDN: ITHTYZ. (In Russ.)
- Guseva, T. B., Soldatova, S. Yu., Karanyan, O. M. 2023. The effect of freezing on the change in the quality characteristics of common carp meat. *Food Industry*, 3, pp. 67–69. DOI: <https://doi.org/10.52653/ppi.2023.3.3.013>. EDN: ZCSEIN. (In Russ.)
- Krasnova, O. A., Khardina, E. V. 2018. Monitoring of the qualitative characteristics of fish raw materials produced in the territory of the Udmurt Republic. *Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine*, 235(3), pp. 110–115. DOI: <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-235-3-110-115>. (In Russ.)
- Reznichenko, I. Yu., Khokhlova, N. V., Toroshina, T. A., Tikhonova, O. Yu. 2016. Influence of labeling on the competitiveness of goods. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 2(37), pp. 113–119. EDN: VTRCYB. (In Russ.)
- Timakova, R. T., Tikhonov, S. L., Tikhonova, N. V. 2020. Investigation of the possibility of using arabinogalactan for the storage of chilled fish. *Dostizheniya Nauki i Tekhniki APK*, 34(10), pp. 106–110. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-11017. EDN: VOFTIP. (In Russ.)
- Tkachev, A. V. 2021. Veterinary and sanitary assessment of frozen fish imported to the Belgorod region. *International Veterinary Gazette*, 1, pp. 149–154. EDN: KNXHKK. (In Russ.)
- Shelamova, N. A. 2020. Development of export potential and fishery infrastructure of the Far East. *Economics of Agriculture of Russia*, 6, pp. 62–70. DOI: <https://doi.org/10.32651/206-62>. EDN: EZCAVT. (In Russ.)

- Aghaei, Z., Ghorani, B., Emadzadeh, B., Kadkhodae, R. et al. 2020. Protein-based halochromic electrospun nanosensor for monitoring trout fish freshness. *Food Control*, 111. Article number: 107065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.107065>.
- Duarte, A. M., Silva, F., Pinto, F. R., Barroso, S. et al. 2020. Quality assessment of chilled and frozen fish – mini review. *Foods*, 9(12). Article number: 1739. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods9121739>.
- Ezati, P., Priyadarshi, R., Bang, Y.-J., Rhim, J.-W. 2021. CMC and CNF-based intelligent pH-responsive color indicator films integrated with shikonin to monitor fish freshness. *Food Control*, 126. Article number: 108046. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108046>.
- Hafezparast-Moadab, N., Hamdami, N., Dalvi-Isfahan, M., Farahnaky, A. 2018. Effects of radiofrequency-assisted freezing on microstructure and quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, pp. 81–87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.12.012>.
- Hassoun, A., Saharb, A., Lakhal, L., Aït-Kaddour, A. 2019. Fluorescence spectroscopy as a rapid and non-destructive method for monitoring quality and authenticity of fish and meat products: Impact of different preservation conditions. *LWT*, 103, pp. 279–292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.01.021>.
- Nakazawa, N., Okazaki, E. 2020. Recent research on factors influencing the quality of frozen seafood. *Fisheries Science*, 86, pp. 231–244. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12562-020-01402-8>.
- Parra, L., Rocher, J., Escrivá, J., Lloret, J. 2018. Design and development of low cost smart turbidity sensor for water quality monitoring in fish farms. *Aquaculture Engineering*, 81, pp. 10–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2018.01.004>.
- Prabhakar, P. K., Vatsa, S., Srivastav, P. P., Pathak, S. S. 2020. A comprehensive review on freshness of fish and assessment: Analytical methods and recent innovations. *Food Research International*, 133. Article number: 109157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109157>.
- Radinger, J., Britton, J. R., Carlson, S. M., Magurran, A. E. 2019. Effective monitoring of freshwater fish. *Fish and Fisheries*, 20(4), pp. 729–747. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12373>.
- Sun, Q., Zhao, X., Zhang, C., Xia, X. et al. 2019. Ultrasound-assisted immersion freezing accelerates the freezing process and improves the quality of common carp (*Cyprinus carpio*) at different power levels. *LWT*, 108, pp. 106–112. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.042>.
- Wu, L., Pu, H., Sun, D. W. 2019. Novel techniques for evaluating freshness quality attributes of fish: A review of recent developments. *Trends in Food Science & Technology*, 83, pp. 259–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.12.002>.
- Zhang, W., Ma, J., Sun, D.-W. 2021. Raman spectroscopic techniques for detecting structure and quality of frozen foods: Principles and applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(16), pp. 2623–2639. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2020.1828814>.
- Zhu, S., Yu, J., Chen, X., Zhang, Q. et al. 2021. Dual cryoprotective strategies for ice-binding and stabilizing of frozen seafood: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 111, pp. 223–232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.069>.

#### Сведения об авторах

**Резниченко Ирина Юрьевна** – ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, Россия, 650056;  
Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, д-р техн. наук, профессор;  
e-mail: [irina.reznichenko@gmail.com](mailto:irina.reznichenko@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

**Irina Yu. Reznichenko** – 5 Markovtseva Str., Kemerovo, Russia, 650056;  
Kuzbass State Agricultural Academy, Dr Sci. (Engineering), Professor;  
e-mail: [irina.reznichenko@gmail.com](mailto:irina.reznichenko@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7486-4704>

**Егушова Елена Анатольевна** – ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, Россия, 650056;  
Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, канд. техн. наук, доцент;  
e-mail: [Egushova@mail.ru](mailto:Egushova@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2918-9858>

**Elena A. Egushova** – 5 Markovtseva Str., Kemerovo, Russia, 650056;  
Kuzbass State Agricultural Academy, Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;  
e-mail: [Egushova@mail.ru](mailto:Egushova@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2918-9858>

**Донченко Татьяна Александровна** – пр-т Кузнецкий, 24, г. Кемерово, Россия, 650992;  
Центр гигиены и эпидемиологии в Кемеровской области, эксперт;  
e-mail: [mta84@list.ru](mailto:mta84@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3792-5608>

**Tat'yana A. Donchenko** – 24 Kuznetsky Ave., Kemerovo, Russia, 650992;  
Center for Hygiene and Epidemiology in Kemerovo Region, Expert;  
e-mail: [mta84@list.ru](mailto:mta84@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3792-5608>

## Приложение

## Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 31339-2006	Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Правила приемки и методы отбора проб. URL: <a href="https://www.internet-law.ru/gosts/gost/324">https://www.internet-law.ru/gosts/gost/324</a>
ГОСТ 31628-2012	Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения массовой концентрации мышьяка. URL: <a href="https://internet-law.ru/gosts/gost/52594/">https://internet-law.ru/gosts/gost/52594/</a>
ГОСТ 31789-2012	Рыба, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Количественное определение содержания биогенных аминов методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/1200101545">https://docs.cntd.ru/document/1200101545</a>
ГОСТ 32366-2013	Рыба мороженая. Технические условия. URL: <a href="https://internet-law.ru/gosts/gost/55552/">https://internet-law.ru/gosts/gost/55552/</a>
ГОСТ 33824-2016	Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка). URL: <a href="https://internet-law.ru/gosts/gost/62938/">https://internet-law.ru/gosts/gost/62938/</a>
ГОСТ 7631-2008	Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. URL: <a href="https://internet-law.ru/gosts/gost/47573/">https://internet-law.ru/gosts/gost/47573/</a>
ГОСТ Р ИСО 10576-1-2006	Статистические методы. Руководство по оценке соответствия установленным требованиям. Часть 1. Общие принципы (п. 6 и 7). URL: <a href="https://files.stroyinf.ru/Data/28/2845.pdf">https://files.stroyinf.ru/Data/28/2845.pdf</a>
ГОСТ Р 56931-2016	Продукты пищевые и продовольственное сырье. Вольтамперометрический метод определения содержания ртути. URL: <a href="https://internet-law.ru/gosts/gost/61972/">https://internet-law.ru/gosts/gost/61972/</a>
МУК 4.1.3217-2014	Методы контроля. Химические факторы. Определение фосфатов в пищевых продуктах и продовольственном сырье. URL: <a href="https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293766/4293766820.htm">https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293766/4293766820.htm</a>
	Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания. URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/420374878">https://docs.cntd.ru/document/420374878</a>
ТР ТС 021/2011	Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции", раздел XI пункта 33 (глазурь), приложения 4 (гистамин) (утвержден решением комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 г., № 880). URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/902320560">https://docs.cntd.ru/document/902320560</a>
ТР ТС 022/2011	Пищевая продукция в части ее маркировки. URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/902320347">https://docs.cntd.ru/document/902320347</a>
ТР ТС 029/2012	Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств. URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/902359401">https://docs.cntd.ru/document/902359401</a>
ТР ЭАЭС 040/2016	О безопасности рыбы и рыбной продукции. URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/420394425">https://docs.cntd.ru/document/420394425</a>
Федеральный закон от 02.01.2000 № 29-ФЗ	О качестве и безопасности пищевых продуктов (ред. от 13.07.2020). URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/901751351">https://docs.cntd.ru/document/901751351</a>
Федеральный проект по приказу Роспотребнадзора от 20.05.2021 г. № П-239	О проведении исследований по мониторингу качества пищевой продукции и оценке доступности населения к отечественной пищевой продукции, способствующей устранению дефицита макро- и микронутриентов в рамках реализации федерального проекта Укрепление общественного здоровья. URL: <a href="https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/documents.php?back_url_admin">https://www.rosпотребнадзор.ru/documents/documents.php?back_url_admin</a>

УДК 637.071

## Разработка рецептуры мороженого с использованием кобыльего молока и полисахаридов

М. М. Саукенова, Б. М. Нурғалиева, К. Е. Белоглазова\*,  
Ю. В. Ушакова, Г. Е. Рысмұхамбетова

\*Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии  
и инженерии им. Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия;  
e-mail: [k.beloglazova@yandex.ru](mailto:k.beloglazova@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

### Информация о статье

Поступила  
в редакцию  
28.09.2022;  
получена  
после доработки  
18.01.2023;  
принята к публикации  
31.01.2023  
**Ключевые слова:**  
кобылье молоко,  
мороженое, молочные  
продукты, полисахариды,  
органолептические  
показатели, физико-  
химические показатели,  
микробиологические  
показатели, экологические  
показатели безопасности,  
пищевая и энергетическая  
ценность

### Реферат

Использование в массовом питании кобыльего молока обусловлено его лечебными и диетическими свойствами. Созданная в результате исследований рецептура мороженого включала кобылье молоко, сахар, ванилин, желтки куриные пастеризованные, полисахариды. Опытные образцы содержали полисахариды от 0,1 до 1,0 %: гуаран; камедь рожкового дерева; гуммиарабик; ксантановую камедь; пектин яблочный; бамбуковые волокна; яблочные волокна. На основании органолептической оценки были отобраны лучшие образцы мороженого с ксантановой камедью в концентрации 0,1 % и бамбуковых волокон – 0,4 %. В ходе изучения физико-химических и микробиологических показателей нового молочного продукта установлено, что мороженое с добавлением полисахаридов по содержанию токсичных элементов, пестицидов и радионуклидов соответствует нормативным показателям по безопасности пищевой продукции. Разработанное мороженое можно рекомендовать всем слоям населения в качестве источника кальция, фосфора и железа. Результаты анализа физико-химических и микробиологических показателей способствуют формированию теоретической базы для изучения свойств полисахаридов – ксантановой камеди и бамбуковых волокон. Применение данных полисахаридов в составе мороженого из кобыльего молока открывает перспективы для их дальнейшего использования в пищевой промышленности.

### Для цитирования

Саукенова М. М. и др. Разработка рецептуры мороженого с использованием кобыльего молока и полисахаридов. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 281–291. DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-281-291.

## Development of an ice cream recipe using mare's milk and polysaccharides

Moldir M. Saukenova, Balseker M. Nurgalieva, Kristina E. Beloglazova\*,  
Yulia V. Ushakova, Gulsara Y. Rysmukhambetova

\*Saratov State University of Genetics, Biotechnology  
and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia;  
e-mail: [k.beloglazova@yandex.ru](mailto:k.beloglazova@yandex.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

### Article info

Received  
28.09.2022;  
received  
in revised  
18.01.2023;  
accepted  
31.01.2023

### Key words:

mare's milk, ice cream,  
dairy products,  
polysaccharides,  
organoleptic indicators,  
physicochemical indicators,  
microbiological indicators,  
environmental safety  
indicators, nutritional and  
energy value

### Abstract

The use of mare's milk in mass nutrition is due to its medicinal and dietary properties. The ice cream recipe created as a result of research has included mare's milk, sugar, vanillin, pasteurized chicken yolks, and polysaccharides. The test samples have contained polysaccharides from 0.1 to 1.0 %: guarana; locust bean gum; gum arabic; xanthan gum; apple pectin; bamboo fibers; apple fibers. Based on the organoleptic evaluation, the best samples of ice cream with xanthan gum at the concentration of 0.1 % and bamboo fibers at the concentration of 0.4 % have been selected. In the course of studying the physicochemical and microbiological parameters of a new dairy product, it has been found that ice cream with the addition of polysaccharides in terms of the content of toxic elements, pesticides and radionuclides meets the food safety standards. The developed ice cream can be recommended to all segments of the population as a source of calcium, phosphorus and iron. The results of the analysis of physicochemical and microbiological parameters contribute to the formation of a theoretical basis for studying the properties of polysaccharides – xanthan gum and bamboo fibers. The use of these polysaccharides in mare's milk ice cream opens up prospects for their further use in the food industry.

### For citation

Saukenova, M. M. et al. 2023. Development of an ice cream recipe using mare's milk and polysaccharides. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 281–291. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-281-291.

## Введение

В настоящее время в России и в странах Таможенного союза увеличивается уровень поддержки крестьянских (фермерских) хозяйств, которые производят молоко и продукты его переработки. Данная тенденция ориентирована не только на производство коровьего молока, но и на использование в массовом питании кобыльего, овечьего, верблюжьего и козьего сырья. Востребованность на рынке этих молочных продуктов связана с их лечебными и диетическими свойствами. Производители многих регионов (Башкирия, Татарстан, Узбекистан) используют при изготовлении продукции кобылье молоко (*Алтайулы и др., 2021; Лазарев и др., 2014; Нелюбина и др., 2019; Gorbatovskaya et al., 2013*).

Интерес к кобыльему молоку вызван его физико-химическими свойствами: в составе этого продукта в 1,4 раза меньше белков и в 1,2–1,3 раза больше лактозы, чем в коровьем молоке. Белки кобыльего молока усваиваются лучше и быстрее. Кобылье молоко имеет уникальный химический состав, и многие специалисты используют его для изготовления продуктов детского питания (*Иванова, 2017; Степанов и др., 2015; Zhumabayeva et al., 2019*).

Создание молочного продукта, обладающего пищевой и энергетической ценностью, а также высокой степенью усвояемости (*Помогаева и др., 2020*), является актуальной социально значимой задачей развития и повышения экономической эффективности молочного производства. При решении данной задачи осуществляется разработка новой продукции на основе кобыльего молока. Мороженое, изготовленное из кобыльего молока, обладает диетическими свойствами, способствующими расширению потребительского интереса к данному виду продукта (*Marchis et al., 2019; Kondybayev et al., 2021*).

Целью настоящей работы является разработка технологии производства мороженого на основе кобыльего молока с добавлением полисахаридов (ПС), включающая: 1) обоснование необходимости разработки продуктов питания из кобыльего молока на основании маркетинговых исследований; 2) подбор концентрации полисахаридов для производства мороженого на основе кобыльего молока; 3) оценку разработанного мороженого по органолептическим, физико-химическим, микробиологическим, экологическим показателям безопасности и пищевой ценности.

## Материалы и методы

При изготовлении мороженого на основе кобыльего молока с добавлением полисахаридов было использовано следующее сырье:

- 1) кобылье молоко летнего сезона (порода лошадей Кушумская; крестьянское (фермерское) хозяйство М. Буранбаева); ГОСТ Р 52973-2008;
- 2) сахар белый (ООО "Нева"); ГОСТ 33222-2015;
- 3) яйцо куриное пищевое столовое ("Красная цена", отборная категория, АО "Птицефабрика Синявинская"); ГОСТ 31654-2012;
- 4) ванилин (ООО "ПрофАгроТехника"); ГОСТ 16599-71;
- 5) ксантановая камедь (Deosen, Китай); ТР ТС 029/2012;
- 6) бамбуковые волокна "Рутацель концентрат" (J.Rettenmaier & Söhne GmbH & Co.KG, Holzmühle I<Rosenberg, Германия); ТУ 9197-004-23126028-2016;
- 7) камедь гуаран (Easy cook, ООО "Успех", Россия); ТР ТС 029/2012;
- 8) камедь рожкового дерева (Bernello Ingredients GmbH, Германия); ТР ТС 029/2012;
- 9) гуммиарабик (Food colours, Польша); ТР ТС 029/2012;
- 10) пектин яблочный (Andre Pectin ARA104, Китай); ТР ТС 029/2012;
- 11) яблочные волокна "Рутацель концентрат" (J.Rettenmaier & Söhne GmbH & Co.KG, Holzmühle I<Rosenberg, Германия).

В ходе определения показателей мороженого с добавлением ПС применяли ГОСТы:

- органолептических качеств – ГОСТ 31986-2012;
- массовой доли жира – ГОСТ 5867-90, п. 2 (кислотный метод);
- массовой доли сухого вещества – ГОСТ 3626-73, п. 4;
- кислотности мороженого – ГОСТ Р 54669-2011, п. 7;
- сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) – ГОСТ Р 54761-2011;
- взбитости мороженого – ГОСТ 31457-2012;
- температуры мороженого после закаливания – ГОСТ 3622-68;
- количества мезофильных анаэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) – ГОСТ 10444.15-94, п. 6.2 (метод посева в агаризированные среды);
- количества бактерий группы кишечных палочек (БГКП) – ГОСТ 32901-2014, п. 8.5;
- количества патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл *Salmonella* – ГОСТ 31659-2012;
- количества золотистого стафилококка *Staphylococcus aureus* – ГОСТ 30347-2016, п. 8.1;
- количества листерии *Listeria monocytogenes* – ГОСТ 32031-2012;
- массовой доли свинца и кадмия – ГОСТ 30178-96;
- массовой доли мышьяка – ГОСТ Р 51766-2011;

- массовой доли ртути – ГОСТ Р 53183-2008;
- пестицидов [ГХЦГ (альфа-, бета-, гамма-изомеров), ДДТ и его метаболитов] – ГОСТ 23452-2015, п. 8;
- радионуклидов (удельной активности цезия и стронция) – ГОСТ 32161-2013.

Исследование пищевой и энергетической ценности проводилось с помощью таблиц химического состава российских продуктов расчетным методом (*Химический состав...*, 2002).

Разработка молочного продукта на основе кобыльего молока с добавлением полисахаридов осуществлена специалистами Саратовского государственного университета генетики, биотехнологии и инженерии (Вавиловский университет, кафедра "Технологии продуктов питания"). Прикладные исследования были проведены на базе испытательной лаборатории по определению качества пищевой и сельскохозяйственной продукции Вавиловского университета, а также крестьянского (фермерского) хозяйства М. Буранбаева (Западно-Казахстанская область, Бокейординский район).

### Результаты и обсуждение

На первоначальном этапе были проведены маркетинговые исследования рынка продукции из кобыльего молока на основе показателей его реализации в известных маркетплейсах России: Wildberries, OZON, KazanExpress, СберМегамаркет, ЯндексЕда (рис. 1).

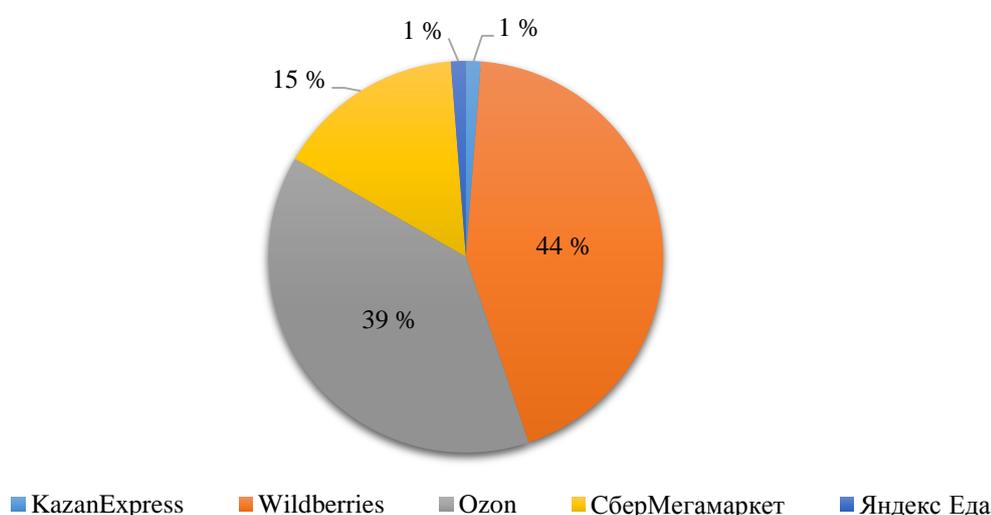


Рис. 1. Структура рынка продукции из кобыльего молока (собственные исследования)  
Fig. 1. List of the surveyed trading platforms (marketplaces) selling products from mare's milk (own research)

Как видно из рис. 1, наибольшее количество продуктов из кобыльего молока продается в сети интернет-магазина Wildberries (44 % от объема продаж). Второе место по реализации занимает OZON, а третье – СберМегамаркет. Доля KazanExpress и ЯндексЕда на рынке составляет по 1 % от объема реализуемой продукции из кобыльего молока.

В результате исследований установлено, что в маркетплейсе Wildberries 96 % составляла продукция из сухого молока и лишь 4 % приходилось на кумыс. При этом в сети интернет-магазина OZON ассортимент состоял только из сухого кобыльего молока Septem vitam. Ассортимент исследуемой продукции маркетплейса СберМегамаркет представлен в основном кисломолочными продуктами (3 %) и сублимированным молоком (97 %). В сети интернет-магазина KazanExpress одинаковый удельный вес пришелся на сухое молоко и сублимированный кумыс марки Septem vitam. В маркетплейсе ЯндексЕда продукты из кобыльего молока не представлены.

Таким образом, анализ ассортимента пяти известных маркетплейсов России показал, что лидерами продаж продукции из кобыльего молока являются Wildberries (44 %) и OZON (39 %). Следует отметить, что в качестве продукта переработки кобыльего молока в основном представлен сублимированный (порошковый) саумал.

Для контроля качества использовали технологию "Настоящее сливочное мороженое на желтках". В базовую рецептуру входили: желток яичный, молоко коровье, ванилин, сахар белый, сахарная пудра, сливки<sup>1</sup>. Рецептура контрольного образца представлена в табл. 1.

<sup>1</sup> Настоящее сливочное мороженое на желтках. URL: <https://www.povarenok.ru/recipes/show/130809>.

Таблица 1. Рецепт контрольного образца мороженого  
Table 1. Recipe for the control sample of ice cream

Наименование ингредиента	Количество, г
Коровье молоко	500,00
Желтки куриные	39,50
Ванилин	0,50
Сахар	50,00
Сахарная пудра	110,00
Сливки (30 %)	300,00
Итого	1 000,00

Полисахариды добавляли в мороженое из кобыльего молока в расчете на 100 г сырьевого набора.

Матрица эксперимента производства мороженого из кобыльего молока с добавлением полисахаридов представлена в табл. 2.

Таблица 2. Матрица эксперимента производства мороженого из кобыльего молока с добавлением полисахаридов

Table 2. Matrix of the experiment of producing ice cream from mare's milk with the addition of polysaccharides

Образцы										
Контроль	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
Камедь гуаран, %										
–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Образцы										
Контроль	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Камедь рожкового дерева, %										
–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Образцы										
Контроль	3.1	3.2	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	3.10
Гуммиарабик, %										
–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Образцы										
Контроль	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5	4.6	4.7	4.8	4.9	4.10
Ксантановая камедь, %										
–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Образцы										
Контроль	5.1	5.2	5.3	5.4	5.5	5.6	5.7	5.8	5.9	5.10
Пектин яблочный, %										
–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Образцы										
Контроль	6.1	6.2	6.3	6.4	6.5	6.6	6.7	6.8	6.9	6.10
Бамбуковые волокна "Рутацель концентрат", %										
–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Образцы										
Контроль	7.1	7.2	7.3	7.4	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	7.10
Яблочные волокна "Рутацель концентрат", %										
–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0

В ходе исследований установлен наилучший образец мороженого с добавлением гуарана – образец 1.1 (средний балл  $4,37 \pm 0,03$ ). Консистенция опытного образца 1.1 жидкая, а структура вязущая. Положительный момент заключался в том, что цвет данного образца был молочный, характерный для данного вида мороженого.

Образец 2.3 с добавлением камеди рожкового дерева обладал относительно высоким средним баллом ( $4,73 \pm 0,02$ ), однако ряд его органолептических показателей не соответствовал контролю: ощущалось неприятное послевкусие полисахарида и присутствовали кристаллы льда. В то же время консистенция

была плотной и однородной, без ощутимых комочков. Цвет образца молочный (характерный для данного вида мороженого) и равномерный по всей массе.

Образец 3.2 с добавлением гуммиарабика имел средний балл  $4,40 \pm 0,01$  и выбран как относительно лучший. Структура мороженого была неоднородной, чувствовался привкус полисахарида, ощущались кристаллы льда, а также консистенция была жидкой. Внесение гуммиарабика не влияло на цвет готового мороженого.

При оценивании образцов с ксантаном выбран образец 4.1 (средний балл  $4,92 \pm 0,02$ ), так как он наиболее приближен к контролю. Консистенция воздушная, однородная и плотная, без ощутимых комочков жира, стабилизатора и эмульгатора, частичек белка и лактозы, кристаллов льда и постороннего привкуса. Цвет образца молочный и равномерный по всей массе.

В результате введения яблочного пектина в образцы отмечено его положительное влияние на такие показатели, как вкус и цвет готового мороженого. Однако негативным фактором явилось образование мелких кристаллов льда в структуре мороженого. Воздушность изделия и приятное послевкусие позволило образцу 5.1 получить относительно высокий средний балл  $4,75 \pm 0,02$ .

На основании органолептического сравнения мороженого с добавлением бамбуковых волокон был выбран образец 6.4 (средний балл  $4,98 \pm 0,01$ ), так как он был наиболее приближен к контролю. Данный образец отличался однородной структурой (без ощутимых комочков жира, стабилизатора, эмульгатора, лактозы и кристаллов льда), плотной консистенцией, умеренно сладким вкусом (без постороннего привкуса).

Образец с добавлением яблочных волокон 7.2 получил относительно высокий балл  $4,83 \pm 0,03$ . В готовом мороженом структура и консистенция были однородными, но ощущались кристаллы льда.

В ходе исследований установлено, что у всех опытных образцов мороженого из кобыльего молока с добавлением ПС запах не изменялся.

Органолептические профили опытных образцов мороженого из кобыльего молока с добавлением ПС представлены на рис. 2.

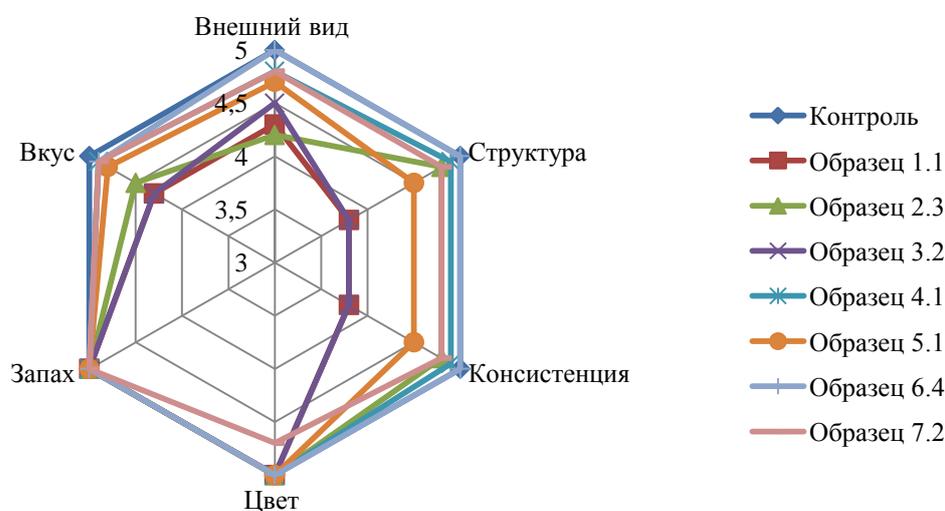


Рис. 2. Органолептические профили опытных образцов мороженого из кобыльего молока с добавлением ПС (собственные исследования)

Fig. 2. Organoleptic profile of the experimental samples of ice cream from mare's milk with the addition of polysaccharides (own research)

Таким образом, в результате эксперимента выбраны образцы мороженого из кобыльего молока 4.1 (с добавлением ксантановой камеди в концентрации 0,1 %) и 6.4 (с бамбуковыми волокнами 0,4 %) как перспективные по своим органолептическим характеристикам продукты для дальнейшего внедрения в массовое питание (Саукенова и др., 2022; 2021).

Результаты проведенных исследований физико-химических показателей мороженого с добавлением ПС представлены в табл. 3.

Таблица 3. Физико-химические показатели мороженого из кобыльего молока с ПС (собственные исследования)  
Table 3. Physicochemical parameters of ice cream from mare's milk with polysaccharides (own research)

Показатель	ТР ТС 033/2013*	Контроль	Образец 4.1	Образец 6.4
Массовая доля жира, %	Не более 7,50	9,50 ± 0,40	2,20 ± 0,40	8,00 ± 0,40
Массовая доля сухого вещества, %	Не менее 28,00	21,90 ± 0,05	23,46 ± 0,05	28,02 ± 0,05
Кислотность, °Т	Не более 90,00	11,60 ± 1,90	7,60 ± 1,90	14,00 ± 1,90
СОМО, %	7,00–11,50	9,10 ± 0,40	8,20 ± 0,40	8,20 ± 0,40
Взбитость, %	30,00–90,00	28,61 ± 10,00	50,12 ± 10,00	62,89 ± 10,00
Температура после закаливания, °С	≤ -18,00	≤ -18,00	≤ -18,00	≤ -18,00

Анализ данных, приведенных в табл. 3, показывает, что массовые доли жира в опытных образцах мороженого из кобыльего молока 4.1 и 6.4 ниже контроля на 76,84 и 15,79 % соответственно, что связано с изменением рецептурного состава. При этом содержание жира в образце 4.1 не превышало допустимых значений, а в образце 6.4 данный показатель был выше нормативных значений ТР ТС 033/2013. Полученные данные требуют дальнейших исследований и могут быть связаны с погрешностью методики. Повышенное содержание жира в контроле связано с тем, что в рецептуру входили 30%-е сливки.

Массовые доли сухих веществ в опытных образцах и контроле не превышали нормативных значений и находились в пределах погрешности измерений. Повышение сухих веществ в опытных образцах 4.1 и 6.4 по сравнению с контролем на 1,56 и 6,12 % соответственно связано с тем, что в рецептуру мороженого из кобыльего молока вносили полисахариды.

Анализ значений кислотности показал, то в образце 4.1 данный показатель ниже на 34,48 %, а в образце 6.4 – выше на 20,69 % по сравнению с контролем; при этом значения соответствовали нормативным значениям ТР ТС 033/2013.

Взбитость мороженого является одним из важных показателей, поэтому в качестве положительного момента отмечено, что у опытных образцов мороженого она была выше контроля почти в 2 раза, что связано со структурно-механическими свойствами полисахаридов, такими как эмульгирование, влагоудержание и стабилизация (Шиповская, 2019)

Таким образом, на основании вышеизложенных результатов исследований можно сделать вывод о том, что мороженое из кобыльего молока с добавлением ПС по физико-химическим свойствам не уступает традиционным видам мороженого из коровьего молока.

Микробиологические показатели качества мороженого из кобыльего молока с добавлением ПС представлены в табл. 4.

Таблица 4. Микробиологические показатели качества мороженого из кобыльего молока с добавлением ПС (собственные исследования)  
Table 4. Microbiological indicators of the quality of ice cream from mare's milk with the addition of polysaccharides (own research)

Микробиологический показатель	ТР ТС 021/2011	Контроль	Образец 4.1	Образец 6.4
КМАФАнМ, КОЕ/г	Не более $1 \cdot 10^5$	$0,5 \cdot 10^5$	$0,04 \cdot 10^5$	$0,003 \cdot 10^5$
БГКП (колиформы)	Не более 0,01 г	–	–	–
Патогенные микроорганизмы, в том числе <i>Salmonella</i>	Не более 25,0 г	–	–	–
<i>Staphylococcus aureus</i>	Не более 1,0 г	–	–	–
<i>Listeria monocytogenes</i>	Не более 25,0 г	–	–	–

Примечание. Тире в таблице означает отсутствие бактерий.

В процессе проведенных микробиологических исследований установлено, что микроорганизмов в опытных образцах мороженого меньше, чем в контроле, и их общее количество не превышает предельно допустимых норм; бактерий группы кишечной палочки и патогенных микроорганизмов, в том числе *Salmonella*, *S. aureus*, *L. monocytogenes*, в процессе испытаний не обнаружено.

Результаты проведенных исследований по экологической безопасности мороженого из кобыльего молока представлены в табл. 5.

Таблица 5. Показатели экологической безопасности мороженого из кобыльего молока с ПС (собственные исследования)  
Table 5. Microbiological indicators of the quality of ice cream from mare's milk with the addition of polysaccharides (own research)

Показатель	ТР ТС 021/2011	Контроль	Образец 4.1	Образец 6.4
<i>Токсичные элементы, мг/кг</i>				
Свинец	Не более 0,1	0,01	0,02	0,01
Мышьяк	Не более 0,05	Менее 0,01	0,01	0,01
Кадмий	Не более 0,03	Менее 0,01	0,01	0,01
Ртуть	Не более 0,005	Менее 0,002	0,002	0,002
<i>Пестициды, мг/кг</i>				
ГХЦГ (альфа-, бета-, гамма-изомеры)	Не более 1,25 (в пересчете на жир)	Менее 0,005	0,05	0,05
ДДТ и его метаболиты	Не более 1,0 (в пересчете на жир)	Менее 0,005	0,05	0,05
<i>Радионуклиды, Бк/кг</i>				
Цезий-137	Не более 100,0	Менее 3,0	3,0	3,0
Стронций-90	Не более 25,0	Менее 0,5	0,5	0,5

Как видно из табл. 5, в опытных образцах мороженого из кобыльего молока токсичные элементы (мышьяк, кадмий, ртуть) содержались в следовых количествах и составляли 0,01–0,002 мг/кг. Массовая доля свинца в образце 4.1 была выше, чем в контроле и опытном образце 6.4, на 0,01 мг/кг, но соответствовала нормативным значениям ТР ТС 021/2011.

В опытных образцах мороженого из кобыльего молока с ПС количество пестицидов было выше, чем в контроле, на 0,045 мг/кг. Однако данные показатели находились в пределах нормативных значений.

При анализе содержания радионуклидов определено, что показатель удельной активности стронция-90 в опытных образцах мороженого был равнозначен контролю. При этом удельная активность цезия-137 в образцах мороженого с добавлением ПС 4.1 и 6.4 была выше на 2,5 Бк/кг.

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о том, что разрабатываемое мороженое из кобыльего молока с добавлением ПС соответствует ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции".

Определение пищевой и энергетической ценности проводилось с помощью таблиц химического состава российских продуктов расчетным методом (табл. 6) (*Химический состав...*, 2002).

Таблица 6. Расчет пищевой и энергетической ценности мороженого из кобыльего молока с ПС (собственные исследования)  
Table 6. Calculation of nutritional and energy value of mare's milk ice cream with polysaccharides (own research)

Образец	Белки, г	Жиры, г	Углеводы, г	Энергетическая ценность, ккал/кДж
Контроль	3,11	8,66	18,04	163,07/ 682,74
Образец 4.1	2,36	2,19	29,55	135,93/569,11
Образец 6.4	2,35	2,19	29,52	135,81/568,61

Как видно из табл. 6, разработанные образцы мороженого из кобыльего молока 4.1 и 6.4 уступали контролю по содержанию белков и жиров на 24,44 и 74,71 % соответственно. Это объясняется тем, что в контрольной рецептуре присутствовали 30%-е сливки, в то время как жирность кобыльего молока составляла всего 2,5 %. При увеличении в рецептуре сахара повысилось содержание углеводов в опытных образцах мороженого из кобыльего молока по сравнению с контролем: в образце 4.1 – 63,80 %; в образце 6.4 – 63,63 %. В результате энергетическая ценность образцов мороженого из кобыльего молока 4.1 и 6.4 была ниже контроля на 16,64 и 16,72 % соответственно.

В табл. 7 представлен расчет витаминно-минерального состава мороженого из кобыльего молока с добавлением ПС.

Таблица 7. Витаминно-минеральный состав мороженого из кобыльего молока с ПС (собственные исследования)  
Table 7. Vitamin and mineral composition of mare's milk ice cream with polysaccharides (own research)

Показатель	Контроль	Образец 4.1	Образец 6.4
Натрий, мг	36,78	23,03	23,03
Калий, мг	110,50	51,36	51,36

Кальций, мг	90,66	68,28	68,28
Магний, мг	9,99	6,97	6,97
Фосфор, мг	90,74	62,98	62,98
Железо, мг	0,53	0,44	0,44
Каротин, мкг	30,60	10,79	10,79
Ретинол, мкг	103,40	59,92	59,92
Тиамин, мг	0,03	0,02	0,02
Рибофлавин, мг	0,11	0,04	0,04
Ниацин, мг	0,08	0,38	0,38
Аскорбиновая кислота, мг	0,37	3,35	3,35

В ходе расчетов было отмечено, что витаминно-минеральный состав опытных образцов мороженого был одинаков по уровню содержания фосфора, магния, каротина, ретинола, тиамина, рибофлавина, но при этом данные показатели были ниже контрольных значений примерно на 30, 40 и 60 %.

В опытных образцах мороженого с добавлением ПС установлено меньшее содержание калия, кальция и железа (на 53,52; 24,69 и 16,98 % по сравнению с контрольным изделием).

Исходя из полученных данных по химическому составу исследуемых образцов мороженого из кобыльего молока, можно сделать вывод о том, что в опытных образцах мороженого содержание ниацина и аскорбиновой кислоты увеличено почти в 5 раз по сравнению с контролем.

### Заключение

В результате проведенных исследований:

- обоснована необходимость разработки продуктов питания на основе кобыльего молока;
- подобрана концентрация полисахаридов для производства мороженого на основе кобыльего молока;

- установлено, что разработанное мороженого из кобыльего молока с добавлением ПС соответствует требованиям, предъявляемым к пищевым продуктам по органолептическим, физико-химическим, микробиологическим, экологическим показателям безопасности и пищевой ценности.

Таким образом, новый продукт, созданный на основе кобыльего молока, позволяет расширить ассортимент молочных продуктов. Использование полисахаридов способствует улучшению структурно-механических свойств мороженого. Благодаря уникальному химическому составу, данное мороженое является продуктом лечебно-профилактического назначения и его можно рекомендовать всем слоям населения как источник кальция, фосфора и железа.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Алтайулы С., Дуйсенкулова Э. К. Технология производства кобыльего молока со сниженными вредными веществами // Интернаука. 2021. № 21-2(197). С. 69–72. EDN: KNEMMB.
- Иванова К. Н. Исследование качества кобыльего молока для использования производства молочных продуктов // Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции : сб. статей по материалам III науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского государственного аграрного университета, Краснодар, 20 марта 2017 г. / под ред. А. А. Нестеренко. Краснодар, 2017. С. 78–80. EDN YJPPUL.
- Лазарев Д. И., Осипов Ю. С., Патрикеева Л. В. К вопросу о кобыльем молоке / Коневодство и конный спорт. 2014. № 2. С. 31–32. EDN: RZKGBZ.
- Нелюбина Е. Г., Валяева Е. А. Технология производства йогуртов на основе кобыльего молока // Парадигма. 2019. № 2. С. 148–152. EDN: ITVHYE.
- Помогаева Е. А., Гундарева А. Н., Жукова О. И. Оценка показателей биологической ценности молока различных видов лактирующих сельскохозяйственных животных при его заморозке // Актуальные вопросы естествознания : материалы V Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Иваново, 24 марта 2020 г. / сост. О. В. Хонгорова, М. Г. Есина. Иваново, 2020. С. 161–166. EDN: DPXJOF.
- Саукунова М. М., Нургалиева Б. М., Белоглазова К. Е., Ушакова Ю. В. [и др.]. Влияние полисахаридов на органолептические свойства мороженого из кобыльего молока // АПК России: образование, наука, производство : сб. статей III Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., Саратов, 8–9 декабря 2021 г. / под науч. ред. М. К. Садыговой, М. В. Беловой, А. А. Галиуллина. Пенза, 2022. С. 164–167. EDN: INWMJJ.
- Саукунова М. М., Нургалиева Б. М., Белоглазова К. Е., Ушакова Ю. В. Разработка технологии мороженого из кобыльего молока с полисахаридами // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых

- ученых : сб. науч. ст. 2-й Всерос. науч.-практ. конф. перспективных разработок, Курск, 1 декабря 2021 г. : в 5 т. / отв. ред. А. А. Горохов. Курск, 2021. Т. 4. С. 180–185. EDN: VOQEIR.
- Степанов К. М., Лебедева У. М., Ефремова С. Т., Степанов Н. П. Перспективы создания детских продуктов из кобыльего молока в условиях республики Саха (Якутия) // Вопросы питания. 2015. Т. 84, № S3. С. 165–167. EDN: XCFACR.
- Химический состав российских пищевых продуктов : справочник / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. М. : ДеЛи принт, 2002. 236 с.
- Шиповская А. Б. Получение и физико-химические свойства полисахаридов растительного и животного происхождения. Саратов : Саратовский источник, 2019. 92 с. EDN: LGXZDB.
- Gorbatovskaya N. A., Karimova G., Kassymova M. Mare's milk as the basis of baby foods // Механика и технологии. 2013. № 3(41). С. 130–134. EDN: VLNLVCV.
- Kondybayev A., Loiseau G., Achir N., Mestres C. [et al.]. Fermented mare milk product (Qymyz, Koumiss) // International Dairy Journal. 2021. Vol. 119. Article number 105065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105065>.
- Marchis Z., Longodor A. L., Codea R. A., Balta I. [et al.]. Influence of lactation on composition of mare's milk // Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies. 2019. Vol. XXIII. P. 226–229. URL: [https://www.researchgate.net/publication/336703046\\_Influence\\_of\\_lactation\\_on\\_composition\\_of\\_mare's\\_milk](https://www.researchgate.net/publication/336703046_Influence_of_lactation_on_composition_of_mare's_milk).
- Zhumabayeva M. S., Dossatayeva G. S., Shaimardanova G. M., Kozina L. V. [et al.]. Intestinal microbiome and bile acids metabolism in patients with primary biliary cholangitis using mare's milk // Science & Healthcare. 2019. Vol. 21, Iss. 5. P. 37–44. EDN: FWCHQQ.

## References

- Altayuly, S., Duysenkulova, E. K. 2021. Technology of production of mare's milk with reduced harmful substances. *Internauka*, 21-2(197), pp. 69–72. EDN: KNEMMB. (In Russ.)
- Ivanova, K. N. 2017. Study of the quality of mare's milk for the use of dairy products. *Modern aspects of production and processing of agricultural products*. In coll. of articles based on materials of the III scientific and practical. conf. students, graduate students and young scientists dedicated to the 95th anniversary of the Kuban State Agrarian University, Krasnodar, March 20, 2017. Ed. A. A. Nesterenko. Krasnodar, pp. 78–80. EDN YJPPUL. (In Russ.)
- Lazarev, D. I., Osipov, Yu. S., Patrikeeva, L. V. 2014. On the issue of mare's milk. *Konevodstvo i konnyy sport*, 2, pp. 31–32. EDN: RZKGBZ. (In Russ.)
- Nelyubina, E. G., Valyaeva, E. A. 2019. Technology for the production of yoghurts based on mare's milk. *Paradigma*, 2, pp. 148–152. EDN: ITVHYE. (In Russ.)
- Pomogaeva, E. A., Gundareva, A. N., Zhukova, O. I. 2020. Evaluation of indicators of the biological value of milk of various types of lactating farm animals during its freezing. Proceedings of V All-Russian conf. *Current issues of natural science*, March 24, 2020. Ivanovo, pp. 161–166. EDN: DPXJOF. (In Russ.)
- Saukenova, M. M., Nurgalieva, B. M., Beloglazova, K. E., Ushakova, Yu. V. et al. 2021. Influence of polysaccharides on the organoleptic properties of ice cream from mare's milk. In coll. articles *Agro-Industrial Complex of Russia: Education, Science, Production*, Penza, pp. 164–167. EDN: INWMJJ. (In Russ.)
- Saukenova, M. M., Nurgalieva, B. M., Beloglazova, K. E., Ushakova, Yu. V. 2021. Development of ice cream technology from mare's milk with polysaccharides. In coll. articles *Innovative potential for the development of society: the view of young scientists*, Kursk, Vol. 4, pp. 180–185. EDN: VOQEIR. (In Russ.)
- Stepanov, K. M., Lebedeva, U. M., Efremova, S. T., Stepanov, N. P. 2015. Prospects for the creation of children's products from mare's milk in the conditions of the Republic of Sakha (Yakutia). *Voprosy pitaniya*, 84(S3), pp. 165–167. EDN: XCFACR. (In Russ.)
- Chemical composition of Russian food products: A reference book. 2002. Eds. I. M. Skurikhina, V. A. Tutelyan. Moscow. (In Russ.)
- Shipovskaya, A. B. 2019. Production and physical and chemical properties of polysaccharides of plant and animal origin. *Saratov*. EDN: LGXZDB. (In Russ.)
- Gorbatovskaya, N. A., Karimova, G., Kassymova, M. 2013. Mare's milk as the basis of baby foods. *Mekhanika i tekhnologii*, 3(41), pp. 130–134. EDN: VLNLVCV.
- Kondybayev, A., Loiseau, G., Achir, N., Mestres, C. et al. 2021. Fermented mare milk product (Qymyz, Koumiss). *International Dairy Journal*, 119. Article number 105065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105065>.
- Marchis, Z., Longodor, A. L., Codea, R. A., Balta, I. et al. 2019. Influence of lactation on composition of mare's milk. *Scientific Bulletin. Series F. Biotechnologies*, XXIII, pp. 226–229. URL: [https://www.researchgate.net/publication/336703046\\_Influence\\_of\\_lactation\\_on\\_composition\\_of\\_mare's\\_milk](https://www.researchgate.net/publication/336703046_Influence_of_lactation_on_composition_of_mare's_milk).
- Zhumabayeva, M. S., Dossatayeva, G. S., Shaimardanova, G. M., Kozina, L. V. et al. 2019. Intestinal microbiome and bile acids metabolism in patients with primary biliary cholangitis using mare's milk. *Science & Healthcare*, 21(5), pp. 37–44. EDN: FWCHQQ.

### Сведения об авторах

**СауKENOVA Молдир Максимовна** – ул. Маметовой, 81, г. Уральск, Казахстан, 090006; Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, ст. преподаватель; e-mail: saukenova.moldir@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-3108>

**Moldir M. Saukenova** – 81 Mametova Str., Uralsk, Kazakhstan, 090006; Kazakhstan University of Innovative and Telecommunication Systems, Senior Lecturer; e-mail: saukenova.moldir@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3409-3108>

**Нурғалиева Балсекер Муратовна** – ул. Маметовой, 81, г. Уральск, Казахстан, 090006; Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, ст. преподаватель; e-mail: janslu\_0@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8700-6629>

**Balseker M. Nurgalieva** – 81 Mametova Str., Uralsk, Kazakhstan, 090006; Kazakhstan University of Innovative and Telecommunication Systems, Senior Lecturer; e-mail: janslu\_0@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8700-6629>

**Белоглазова Кристина Евгеньевна** – пр. Столыпина, 4, стр. 3, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, канд. с.-х. наук, ассистент; e-mail: k.beloglazova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

**Kristina E. Beloglazova** – 4/3 Stolypina Ave., Saratov, Russia, 410012; N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Cand. Sci. (Agriculture), Assistant; e-mail: k.beloglazova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

**Ушакова Юлия Валерьевна** – пр. Столыпина, 4, стр. 3, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, ст. преподаватель; e-mail: ushakovaj1990@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1375-6504>

**Yulia V. Ushakova** – 4/3 Stolypina Ave., Saratov, Russia, 410012; N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Senior Lecturer; e-mail: ushakovaj1990@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1375-6504>

**Рысмухамбетова Гульсара Есенгильдиевна** – пр. Столыпина, 4, стр. 3, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, канд. биол. наук, доцент; e-mail: gerismuh@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4224-5922>

**Gulsara Y. Rysmukhambetova** – 4/3 Stolypina Ave., Saratov, Russia, 410012; N. I. Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor; e-mail: gerismuh@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4224-5922>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 16599-71	Ванилин. Технические условия. Введ. 01.01.71. М. : Стандартинформ, 2011. 94 с.
ГОСТ 32901-2014	Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа. Введ. 2016-01-01. М. : Стандартинформ, 2015. 24 с.
ГОСТ 3626-73	Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества. Введ. 1991-07-01. М. : Стандартинформ, 2009. 50 с.
ГОСТ 5867-90	Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. Введ. 1991-07-01. М. : Стандартинформ, 2009. 13 с.
ГОСТ 23452-2015	Молоко и молочные продукты. Методы определения остаточных количеств хлорорганических пестицидов. Введ. 2016-07-01. М. : Стандартинформ, 2016. 12 с.
ГОСТ 30347-2016	Молоко и молочная продукция. Методы определения <i>Staphylococcus aureus</i> . Введ. 2017-09-01. М. : Стандартинформ, 2016. 12 с.
ГОСТ 3622-68	Молоко и молочные продукты. Отбор проб и подготовка их к испытанию. Введ. 2969-07-01. М. : Стандартинформ, 2009. 10 с.
ГОСТ 32031-2012	Молоко и молочная продукция. Продукты пищевые. Методы выявления бактерий <i>Listeria monocytogenes</i> . Введ. 2014-07-01. М. : Стандартинформ, 2014. 25 с.
ГОСТ 31457-2012	Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия. Введ. 2013-07-01. М. : Стандартинформ, 2014. 23 с.
ГОСТ 31659-2012	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода <i>Salmonella</i> . Введ. 2013-07-01. М. : Стандартинформ, 2014. 19 с.
ГОСТ 10444.15-94	Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. Введ. 1996-01-01. М. : Стандартинформ, 2010. 316 с.
ГОСТ 32163-2013	Продукты пищевые. Метод определения содержания стронция Sr-90. Введ. 2014-07-01. М. : Стандартинформ, 2019. 6 с.
ГОСТ 32161-2013	Продукты пищевые. Метод определения содержания цезия Cs-137. Введ. 2014-07-01. М. : Стандартинформ, 2019. 6 с.
ГОСТ Р 53183-2008	Продукты пищевые. Определение следовых элементов. Определение ртути методом атомно-абсорбционной спектроскопии холодного пара с предварительной минерализацией пробы под давлением. Введ. 2011-01-01. М. : Стандартинформ, 2010. 7 с.
ГОСТ 33222-2015	Сахар белый. Технические условия. Введ. 2016-07-01. М. : Стандартинформ, 2019. 23 с.
ГОСТ 30178-96	Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения токсичных элементов. Введ. 1998-01-01. М. : Стандартинформ, 2010. 32 с.
ГОСТ 31986-2012	Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания. Введ. 2015-01-01. М. : Стандартинформ, 2014. 11 с.
ГОСТ 31654-2012	Яйца куриные пищевые. Технические условия. Введ. 2014-01-01. М. : Стандартинформ, 2013. 7 с.
ГОСТ Р 54761-2011	Молоко и молочная продукция. Методы определения массовой доли сухого обезжиренного молочного остатка. Введ. 2013-01-01. М. : Стандартинформ, 2012. 7 с.
ГОСТ Р 54669-2011	Молоко и продукты переработки молока. Методы определения кислотности. Введ. 2013-01-01. М. : Стандартинформ, 2013. 10 с.
ГОСТ Р 52973-2008	Молоко кобылье, сырое. Технические условия. Введ. 2010-01-01. М. : Стандартинформ, 2009. 6 с.
ГОСТ Р 51766-2011	Сырье и продукты пищевые. Атомно-абсорбционный метод определения мышьяка. Введ. 2002-07-01. М. : Стандартинформ, 2011. 9 с.
ТР ТС 029/2012	Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств (с изменениями на 18 сентября 2014 г.). URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/902359401">https://docs.cntd.ru/document/902359401</a>
ТР ТС 033/2013	О безопасности молока и молочной продукции (с изменениями на 15 июля 2022 г.). URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/499050562">https://docs.cntd.ru/document/499050562</a> .
ТР ТС 021/2011	О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 14 июля 2021 г.). URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/902320560">https://docs.cntd.ru/document/902320560</a> .

УДК 664.1

## Свекловичный жом сахарного производства и перспективы его использования

А. А. Славянский, Д. П. Митрошина\*, В. А. Грибкова, В. А. Ермолаев, О. Н. Бондарчук

\*Московский государственный университет технологий и управления  
им. К. Г. Разумовского, г. Москва, Россия;

e-mail: d\_mitr96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

Информация о статье    Реферат

Поступила  
в редакцию  
31.03.2023;

получена  
после доработки  
15.05.2023;

принята к публикации  
16.05.2023

Ключевые слова:

сахарная  
промышленность,  
свекловичный жом,  
побочные продукты,  
экология,  
пектиновые вещества,  
сахарный сироп

В связи с последними научными достижениями появились новые возможности более глубокой переработки не только сырьевых ресурсов, но и побочной продукции агропромышленного комплекса страны. Свеклосахарное производство является источником ряда побочных продуктов, таких как свекловичный жом, меласса и фильтрационный осадок. Отечественное сахарное производство относится к материалоемким отраслям промышленности, так как объем растительного сырья, а также образующихся побочных продуктов в несколько раз превышает выход готовой продукции – белого сахара. Недостаточное внимание к проблемам более полной переработки побочных продуктов свеклосахарного производства может быть причиной ухудшения экологической обстановки. В настоящее время претерпела обновление не только нормативная документация, регламентирующая качественные показатели используемого сырья и готовой продукции отрасли, но и уточнено определение побочных продуктов сахарного производства, образующихся в производстве белого сахара. В частности побочные продукты свеклосахарной отрасли могут быть использованы для извлечения из них полезных компонентов, пригодных для производства новых пищевых продуктов повышенной пищевой ценности. Основное внимание в статье уделено перспективным направлениям использования свекловичного жома для производства новых видов продуктов питания. Разработан способ производства обогащенного пектиновым экстрактом свекловичного жома сахарного сиропа. Внесение пектинового экстракта свекловичного жома в сироп не только способствует повышению пищевой ценности, но и улучшает его технологические свойства, при этом расширяется линейка новых видов пищевых продуктов и их свойства.

Для цитирования

Славянский А. А. и др. Свекловичный жом сахарного производства и перспективы его использования. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 292–303. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-292-303>.

## Beet pulp of sugar production and prospects for its use

Anatoly A. Slavyansky, Daria P. Mitroshina\*, Vera A. Gribkova,  
Vladimir A. Ermolaev, Olga N. Bondarchuk

\*Razumovsky Moscow State University of Technology and Management, Moscow, Russia;

e-mail: d\_mitr96@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

Article info

Abstract

Received  
31.03.2023;

received  
in revised form  
15.05.2023;

accepted 16.05.2023

Key words:

sugar industry,  
beet pulp,  
by-products,  
ecology,  
pectins,  
sugar syrup

Due to the latest scientific achievements new opportunities have appeared for deeper processing of not only raw materials, but also by-products of the country's agro-industrial complex. Beet sugar production is a source of a number of by-products such as beet pulp, molasses and filter cake. Domestic sugar production refers to material-intensive industries, since the volume of vegetable raw materials, as well as by-products formed in the technological process, is several times higher than the yield of finished products – white sugar. Insufficient attention to the problems of more complete processing of by-products of sugar beet production may be the cause of environmental degradation. Currently, not only the regulatory documentation regulating the quality indicators of raw materials used and finished products of the industry has been updated, but also the definition of by-products of sugar production, formed in the production of white sugar, has been clarified. In particular, by-products of the sugar beet industry can be used to extract useful components from them, suitable for the production of new food products with increased nutritional value. The main attention in the paper is paid to promising areas for the use of beet pulp for the production of new types of food products. A method has been developed for the production of sugar syrup enriched with pectin extract of beet pulp. The addition of beet pulp pectin extract to the syrup not only increases the nutritional value, but also improves its technological properties while expanding the range of new types of food products and their properties.

For citation

Slavyansky, A. A. et al. 2023. Beet pulp of sugar production and prospects for its use. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 292–303. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-292-303>.

## Введение

В настоящее время на территории Российской Федерации действует Федеральный закон от 10 января 2002 г. № 7-ФЗ "Об охране окружающей среды", который определяет вектор развития государственной политики в области экологической безопасности<sup>1</sup>. В соответствии с ним одним из приоритетных направлений развития государства является более глубокое использование природных ресурсов, особенно сырьевой базы, а также снижение негативного воздействия хозяйственной деятельности человека на окружающую среду. Большие массы побочной продукции на предприятиях отрасли могут быть причиной загрязнения почв, воздуха и водных ресурсов. Поэтому проблема их глубокой переработки и утилизации весьма актуальна для всех стран мира. Побочные продукты из растительного сырья могут быть использованы как ценное сырье для производства различной продукции. Преимуществами такого сырья являются возобновляемость, доступность и экологическая безопасность (*Славянский и др., 1984*).

Весомую роль в структуре агропромышленного комплекса занимает свеклосахарная промышленность (*Славянский и др., 2005; Лебедева и др., 2021; Николаева и др., 2021*). В Российской Федерации функционирует около 4500 свеклосахарных хозяйств и порядка 65 сахарных заводов, которые расположены в 25 и в 19 регионах соответственно. В сезоне 2022/23 гг. действовало 65 сахарных заводов. С начала производственного сезона переработано 43,28 млн т сахарной свеклы, что на 5,84 млн т больше чем в сезоне 2021/22, а выработка кристаллического сахара в сезоне 2022/23 г увеличилась на 9 % по сравнению с прошлым сезоном и составила 5,90 млн т (*Донченко и др., 2023*).

В настоящее время свеклосахарная отрасль, как и другие отрасли пищевой промышленности, претерпевает этап пересмотра и обновления нормативной документации. В этом направлении особое внимание обращено не только на пересмотр требований к стандартам, регламентирующим показатели качества основного сырья и продукции отрасли, но и на систему понятий в области терминологии продуктов сахарного производства. В частности, в утвержденном приказом Росстандарта от 9 августа 2018 г. ГОСТ 26884-2018 "Продукты сахарной промышленности. Термины и определения"<sup>2</sup> введен термин "побочный продукт сахарного производства", который отсутствовал в утратившем силу стандарте ГОСТ 26884-2002<sup>3</sup>. Согласно этим изменениям в актуализированном стандарте побочными продуктами сахарного производства являются дополнительные продукты, которые образуются при производстве сахара. Такая побочная продукция может быть сырьем для производства новых видов различных компонентов, а также использоваться в качестве готовой продукции в других сферах народного хозяйства. В настоящее время в соответствии с ГОСТ 26884-2018 побочными продуктами сахарного производства являются свекловичный жом, меласса, фильтрационный осадок. Кроме того перечень основной побочной продукции сахарного производства существенно расширен. Так, по новому стандарту, жом вырабатывают сырой, глубокого отжатия, сушеный, сушеный в рассыпном виде, гранулированный сушеный, мелассированный сушеный. Ранее в соответствии с ГОСТ 26884-2002 жом подразделялся на кислый, прессованный, сушеный, обогащенный, брикетированный (гранулированный). Определение термина "меласса" в стандартах совпадает, однако новый стандарт уточняет и ее происхождение (свекловичная или тростниковая сахара-сырца), а также дополнительно в него включено понятие "обессахаренная меласса". Что касается фильтрационного осадка (ГОСТ 26884-2002), то под ним понимали "совокупность твердых частиц с жидкостью", тогда как по новому ГОСТ (26884-2018) фильтрационный осадок переходит в раздел побочной продукции сахарного производства. При этом его трактуют как отфильтрованные частицы карбоната кальция с адсорбированными на их поверхности несахарами.

По информации "Союзроссахар" в производственном сезоне 2021/22 гг. в РФ выработано 30 млн т сырого свекловичного жома и 1,55 млн т гранулированного жома. Прогнозируется увеличение выработки сырого и гранулированного жома в сезоне 2022/23 гг. до 35 млн т и 1,77 млн т соответственно. Ранее экспорт гранулированного жома составлял 83–89 % от общего объема. Причем основными потребителями отечественного жома являлись страны ЕС (около 81 %), Турция и Китай (суммарно 5–15 %), а доля его экспорта в другие страны колебалась от 1 до 5 %. Вместе с тем по причине ряда ограничений на вывоз из РФ растительных отходов в ЕС экспорт гранулированного жома летом 2022 г. составил примерно 289 тыс. т, а основными странами-потребителями его стали Турция и Китай (*Донченко и др., 2023; Славянский и др., 2022*).

Учитывая сложившуюся экономическую обстановку, на сегодняшний день некоторую трудность представляет поиск новых рынков сбыта гранулированного жома. В этой ситуации потребление его внутри страны приобретает особую актуальность (*Ермолаев и др., 2022*).

Свекловичный жом в основном используют для приготовления кормов. Причем для сохранения питательной ценности его высушивают до влажности не более 14 %. Вместе с тем он имеет широкий

<sup>1</sup> Об охране окружающей среды : федер. закон от 10.01.2002 г. № 7-ФЗ (ред. от 26.03.2022) // Собрание законодательства РФ. 2002. № 2. Ст. 133. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34823/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34823/).

<sup>2</sup> ГОСТ 26884-2018. Продукты сахарной промышленности. Термины и определения. М., 2018. 20 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200160119>.

<sup>3</sup> ГОСТ 26884-2002. Продукты сахарной промышленности. Термины и определения. М., 2012. 12 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200030879>.

спектр потенциальных применений в области производства различных химических соединений. Известно, что из 1 т жома может быть выработано 180 кг свекловичного пектина. Химический состав свекловичного жома включает в себя 22–25 % целлюлозы, 21–23 % гемицеллюлозы, 1,8–2,5 % азотистых веществ, 0,8–1,3 % золы, 0,15–0,20 % сахарозы (Зобова и др., 2021; Тужилкин и др., 2012; Штерман и др., 2015). В табл. 1 приведен химический состав сушеного жома.

Таблица 1. Химический состав сушеного жома  
Table 1. Chemical composition of dried beet pulp

Наименование	Содержание, %
Азотистые вещества	3,6
Безазотистые экстрактивные вещества	61,1
Сырая клетчатка	17,6
Сырой протеин	7,9
Сырой жир	0,5
Зола	9,3
Влажность	13,0–14,0

Кроме того, в свекловичном жоме содержатся различные аминокислоты, минеральные вещества и витамины (табл. 2 и 3) (Зобова и др., 2021; Славянский и др., 2022).

Таблица 2. Содержание аминокислот в сушеном жоме  
Table 2. The content of amino acids in dried beet pulp

Наименование	Содержание, г/1 кг
Лизин	6,1
Метионин	0,60
Триптофан	0,57
Аргинин	2,44
Гистидин	1,24
Треонин	2,91
Изолейцин	1,9
Лейцин	3,67
Валин	3,28
Фенилаланин	2,14
Аспаргиновая кислота	4,59
Серин	3,20
Глутаминовая кислота	7,86
Пролин	2,64
Глицин	2,81
Аланин	2,99
Тирозин	2,62

Таблица 3. Содержание минеральных веществ и витаминов в сушеном жоме  
Table 3. The content of minerals and vitamins in dried beet pulp

Наименование	Содержание
Минеральные вещества, г/1 кг	
Кальций	5,0
Фосфор	2,0
Калий	3,4
Магний	2,9
Цинк	15,6
Йод	1,7
Витамины, мг/кг	
V <sub>1</sub>	0,4
V <sub>2</sub>	0,7
V <sub>3</sub>	1,5
V <sub>5</sub>	1,6

Содержащиеся в жоме различные компоненты позволяют рассматривать его в качестве сырья для синтеза различных химических соединений. Так, в состав свекловичного жома входит феруловая кислота, которая путем микробиологической трансформации может быть преобразована в ванилин (*Jiménez-Islas et al., 2022; Saulnier et al., 1999*). В связи с тем, что состав свекловичного жома в основном представлен клетчаткой (целлюлозой), он может служить сырьем для получения карбоксиметилцеллюлозы, которая является наиболее важным водорастворимым производным целлюлозы. Ее получение основано на реакции этерификации – образовании сложных эфиров при взаимодействии кислот и спиртов. На сегодняшний день карбоксиметилцеллюлоза и ее производные широко применяются в качестве загустителя в пищевой и парфюмерно-косметической промышленности, фармацевтике и т. д. (*Katakojwala et al., 2019; Iwuozor et al., 2022; Nair et al., 2016; Gavahian et al., 2019; Sharma et al., 2020; Marzo et al., 2019*).

Свекловичный жом может быть использован в качестве источника биоактивных соединений для получения пищевых продуктов с повышенной пищевой ценностью. Суточная потребность организма человека в пектиновых веществах составляет 2–4 г. Потребность пищевой промышленности в пектине составляет более 10 тыс. т в год. Пектиновые вещества относятся к семейству содержащихся в клеточных стенках растений гетерополисахаридов (*Dranca et al., 2018*). Гидроколлоиды пектинов представляют собой весьма ценные пищевые ингредиенты, которые нашли применение как в пищевой, так и в парфюмерно-косметической и фармацевтической отраслях промышленности. В основном, пектиновые вещества применяют в качестве желеобразующего агента при производстве кондитерских изделий, напитков, соусов, консервной продукции и т. д. Они также обладают биомедицинскими свойствами, поскольку способны оказывать влияние на содержание холестерина в крови, снижать риск развития сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний и др. На свойства пектиновых веществ в значительной степени влияет их структура, а значит не весь пектин подходит для потенциального применения в пищевой или фармацевтической промышленности.

В настоящее время чаще используются пектиновые вещества из цитрусовых (их кожуры) и яблочных выжимок. Причем особое внимание уделяется получению пектиновых веществ из альтернативных источников, в том числе из свекловичного жома. В его химический состав входит 25–30 % пектиновых веществ, что примерно соответствует их содержанию в яблочных выжимках (15–25 %) и кожуре цитрусовых плодов (30–35 %). Пектиновые вещества сахарной свеклы содержат большое количество ацетильных групп и нейтральных сахаров с более низкой молекулярной массой и из-за белков, ковалентно связанных в боковых цепях, обладают малой гелеобразующей способностью по сравнению с яблочным и цитрусовым пектином. Таким образом, несмотря на доступность, более полное извлечение и низкую стоимость свекловичного пектина, он еще находит незначительное применение в качестве студнеобразователя, хотя обладает значительными эмульгирующими свойствами, а в присутствии солей кальция может образовывать прочные студни.

Наиболее широко распространено получение пектиновых веществ из свекловичного жома по "кислотно-спиртовой" технологии (рис. 1). Данная технология предусматривает несколько последовательных этапов: подготовка сырья и его гидролиз, коагуляция пектина этиловым спиртом или солями металлов, промывание коагулята спиртом, сушка пектина и его помол, фракционирование с помощью сит, упаковка (*Риянова и др., 2017*).

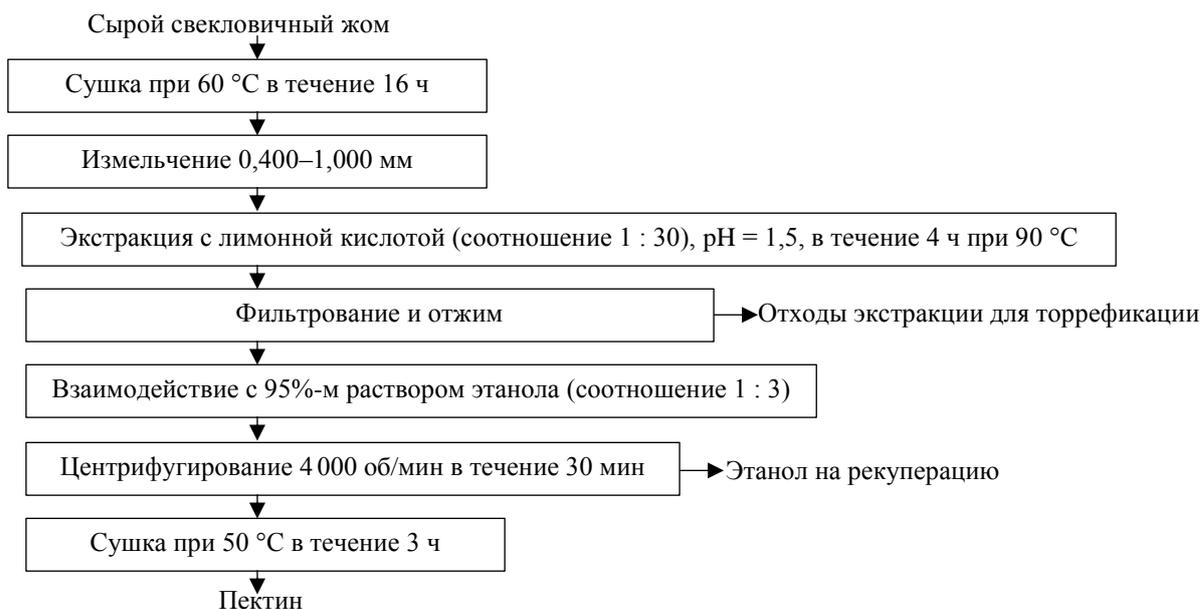


Рис. 1. Блок-схема получения пектина (*Риянова и др., 2017*)  
Fig. 1. Flowchart for obtaining pectin (*Riyanova et al., 2017*)

В этой связи одним из перспективных направлений развития свеклосахарной отрасли является производство новых видов разнообразных пектинсодержащих продуктов: пищевых волокон, пюре, экстрактов, концентратов, сухого пектина и т. д. Помимо этого пектиновые вещества представляют собой весьма востребованные функциональные ингредиенты для различных слоев населения, а также для производства продуктов лечебного и профилактического питания.

Учитывая, что пектин представляет собой неотъемлемую часть рациона питания человека, цель исследования – разработка новых пектинсодержащих сахарных продуктов.

### Материалы и методы

В пищевой промышленности нашли широкое применение сиропы для производства различных продуктов питания. По ГОСТ 28499-2014<sup>4</sup> сиропы – это растворы с концентрацией сухих веществ не менее 50,0 %. В соответствии со стандартом их классифицируют по способу обработки (пастеризованные и непастеризованные, с применением или без применения консервантов, холодного, горячего или асептического розлива), по внешнему виду (прозрачные и непрозрачные), а также подразделяют на группы в зависимости от используемого сырья, его содержания в готовом продукте, технологии производства и назначения (табл. 4).

Таблица 4. Основные виды сиропов  
Table 4. Main types of syrups

Название сиропов	Состав	Применение
Сироп с соком	Изготовлен на основе сока (натурального или концентрированного и (или) спиртового), допускается наличие ароматизаторов, подсластителей и т. д.	Производство алкогольных и безалкогольных напитков, кондитерской промышленности и др.
Сироп на ароматизаторах	Содержит ароматические вещества или их композиции (ароматизаторы, эфирные масла и т. д.)	Кондитерская, хлебобулочная промышленность и др.
Сироп на растительном сырье	Преобладает использование экстрактов, настоев, композиций растительного сырья и т. д.	Производство алкогольной и безалкогольной продукции, кондитерская промышленность и др.
Сироп специального назначения (установлены требования к содержанию отдельных веществ или всех веществ и т. д.)	Требования указаны в ГОСТ 28499-2014 <sup>5</sup>	Изготавливается с целью безопасного употребления отдельными категориями людей

В кондитерском производстве в качестве основного сырья используют кристаллический белый сахар, но для получения различных кондитерских изделий его необходимо перевести в растворенное состояние и далее подвергнуть технологической обработке, поэтому в кондитерской промышленности сахарный сироп представляет собой полуфабрикат производства<sup>6</sup>.

В течение последних двух десятилетий существенно расширились представления о влиянии питания на здоровье человека. В связи с изменением условий жизни современного человека в сторону их урбанизации, а также новых представлений о культуре питания, сегодня актуально направление на создание пищевых продуктов, уменьшающих риск возникновения алиментарно-зависимых заболеваний. К ним следует отнести и продукцию, обогащенную низкометоксилированным пектином. Так, был разработан способ производства сахарного сиропа (*Способ...*, 2018), обогащенного пектиновым экстрактом (рис. 2).

Разработанная технология предусматривает растворение кристаллического белого сахара в горячей воде при постоянном перемешивании. С целью повышения пищевой ценности сахарного сиропа в него дополнительно вносят пектиновый экстракт, содержащий 1,5–3,5 % пектина при pH 4,0–6,0. Затем при температуре 85–90 °C содержание сухих веществ в растворе доводят до 65–72 %. Далее с целью

<sup>4</sup> ГОСТ 28499-2014. Сиропы. Общие технические условия. М., 2018. 8 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200115088>.

<sup>5</sup> Там же.

<sup>6</sup> ГОСТ Р 53041-2008. Изделия кондитерские и полуфабрикаты кондитерского производства. М., 2019. 16 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200073044>.

интенсификации перемешивания пектинового экстракта и растворения кристаллов сахара обогащенный сахарный сироп подвергают кавитационно-кумулятивной обработке в суперкавитирующем статическом аппарате, подача сиропа происходит со скоростью 10–15 м/с.

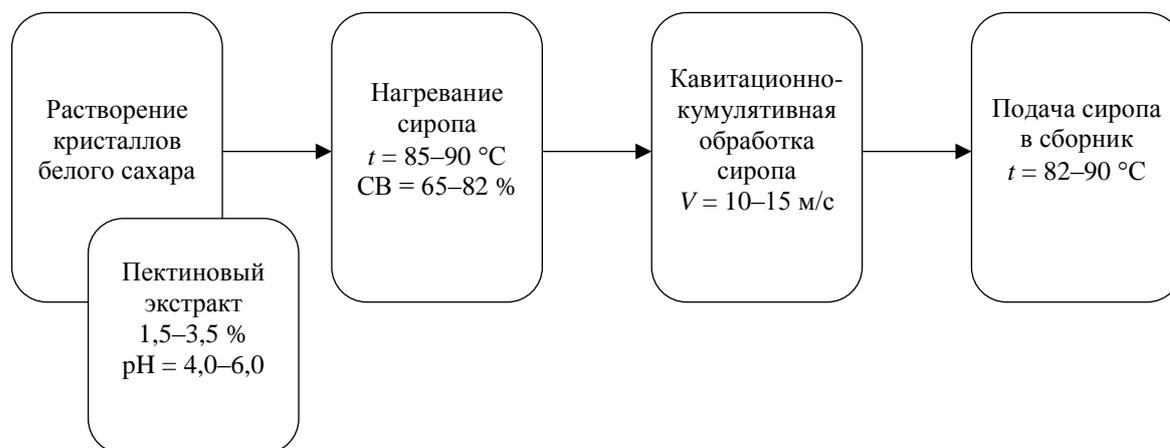


Рис. 2. Схема производства сахарного сиропа с экстрактом пектина  
Fig. 2. Scheme for the production of sugar syrup with pectin extract

Кавитация возникает при местном понижении давления в жидкости (Сергеева и др., 2021; Уколов и др., 2021). С возрастанием интенсивности кавитационного воздействия на обрабатываемую жидкость могут возникать колебания и зарождаться пузырьки, которые по достижению максимального размера или при столкновении с относительно высоким давлением, схлопываются, причем в результате этого коллапса в окружающую жидкость выделяется значительное количество энергии в механической, термической и химической форме. В результате гидродинамической кавитации в жидкости образуются ударные волны, микроструи, а также при схлопывании пузырьков возникает высокое напряжение сдвига. На рис. 3 представлено схематическое изображение процесса схлопывания кавитационного микропузырька, пронизываемого микроструей.

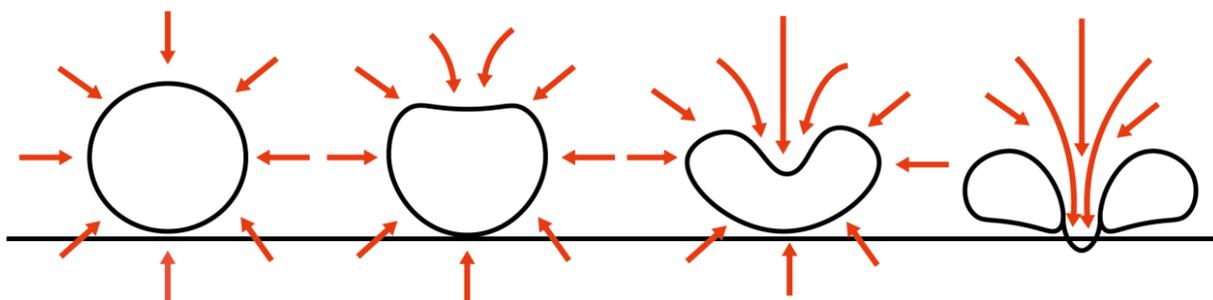


Рис. 3. Процесс схлопывания кавитационного пузырька, пронизываемого микроструей  
Fig. 3. The process of collapse of a cavitation bubble penetrated by a liquid microjet

При схлопывании пузырек складывается и проникает через микрострую жидкости. В результате схлопывания вокруг пузырьков наблюдается местное повышение температуры и интенсификация процесса перемешивания сиропа, также благодаря конденсированию пузырьков пара растворяются мелкие кристаллы сахара и исчезают возможные флотационные образования центров кристаллизации сахара в высококонцентрированном сиропе.

После кавитационно-кумулятивной обработки сироп насосом подают в сборник готового сахарного сиропа, где его хранят при температуре 85–90 °С.

Полученный по разработанному способу сахарный сироп исследовали на соответствие требованиям ГОСТ 28499-2014 по органолептическим показателям (ГОСТ ISO 6658-2016<sup>7</sup>).

Для определения содержания в сиропе с пектиновым экстрактом кристаллов сахара и новых центров кристаллизации его изучали под микроскопом с различной степенью увеличения. Анализ проводили

<sup>7</sup> ГОСТ ISO 6658-2016. Органолептический анализ. Методология. Общее руководство. М., 2016. 20 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200139405>.

по методике, зафиксированной в ГОСТ 29245-91<sup>8</sup>. Контроль качества сиропа осуществлялся сразу на выходе из суперкавитирующего статического аппарата и затем каждые 10 минут в течение часа из сборника готового сиропа. При обнаружении кристаллов сахара их отделяли от сиропа с помощью фильтрации через мембранный фильтр с последующим пересчетом на массу сиропа.

На следующем этапе исследования проводился подбор диапазона концентраций вводимого в сироп пектинового экстракта для создания продукта с желаемыми текстурными характеристиками. Измерение вязкости сахарного сиропа с добавлением пектинового экстракта в диапазоне концентраций от 0,15 до 4 % проводили с использованием ротационного вискозиметра Fungilab SMART. Метод базируется на том, что образцы сиропа с различной концентрацией пектинового экстракта помещают в малый зазор между двумя телами, причем одно из них неподвижно, а другое (ротатор ротационного вискозиметра) совершает вращение с постоянной скоростью. Вращение ротора передается к неподвижной поверхности в результате движения вязкой среды, а также отсутствия проскальзывания среды у поверхностей тела, поэтому момент вращения ротора вискозиметра является мерой вязкости.

Текстурные характеристики нового вида сиропа изучали с применением консистометра Бовстика LD-BC24 FungiLab. Метод основан на измерении расстояния протекания сиропа по поверхности прибора под действием собственной массы за определенное время. Чем выше скорость движения образца, тем ниже его вязкость.

Пищевую ценность определяли расчетным методом по таблицам химического состава<sup>9</sup>.

### Результаты и обсуждение

В ходе исследования были получены результаты по органолептическому анализу разработанного сахарного сиропа с пектиновым экстрактом. Согласно ГОСТ 28499-2014 сиропы по органолептическим характеристикам должны быть прозрачными и не содержать в своем составе взвешенных частиц. Обогащенный пектиновым экстрактом сахарный сироп обладает сладким вкусом без постороннего запаха, имеет вязкую консистенцию без посторонних включений, а по внешнему виду представляет собой непрозрачную темно-желтую жидкость. Сравнительный анализ пищевой ценности традиционного сахарного сиропа и сиропа с пектиновым экстрактом представлен в табл. 5.

Таблица 5. Сравнительный анализ пищевой ценности сахарных сиропов  
Table 5. Comparative analysis of the nutritional value of sugar syrups

Показатель	Количество, на 100 г	
	Сахарный сироп	Сахарный сироп с добавлением пектинового экстракта свекловичного жома, содержащим 3,5 % пектина
Калорийность, кКал	320,00	295,28
Белки, г	0	0,12
Жиры, г	0	0
Углеводы, г	80	72,4
Пищевые волокна, г	0	2,6
Вода, г	20	26,5

Как пищевой продукт сахарный сироп обладает пониженной пищевой, но высокой энергетической ценностью. По сравнению с традиционным сахарным сиропом, разработанный сироп имеет более высокую пищевую ценность благодаря наличию в нем пищевых волокон – веществ, которые не перевариваются пищеварительными ферментами организма человека, однако они могут быть переработаны полезной микрофлорой кишечника.

Результаты определения содержания в сиропе кристаллов сахара были сравнены с сахарным сиропом, полученным путем растворения в горячей воде при перемешивании за счет барботирования паром до достижения в нем 65–72 % сухих веществ (рис. 4).

Из приведенных данных рис. 4 видно, что способ производства сиропа с экстрактом пектина с использованием гидродинамической кавитации по сравнению с известной технологией производства сахарного сиропа позволяет полностью исключить в нем наличие кристаллов сахара, а также новых центров его кристаллизации.

<sup>8</sup> ГОСТ 29245-91. Консервы молочные. Методы определения физических и органолептических показателей. М., 2009. 6 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200021675>.

<sup>9</sup> Тутельян В. А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания: справочник. М. : ДеЛи плюс. 2012. 283 с.

Чтобы оценить влияние экстракта на реологические свойства сахарного сиропа в ходе исследования, проводилась оценка вязкости сиропа с добавкой экстракта пектина в количестве от 0,15 до 4 %, содержащим 68 % сухих веществ при pH 4,0–6,0 (рис. 5).

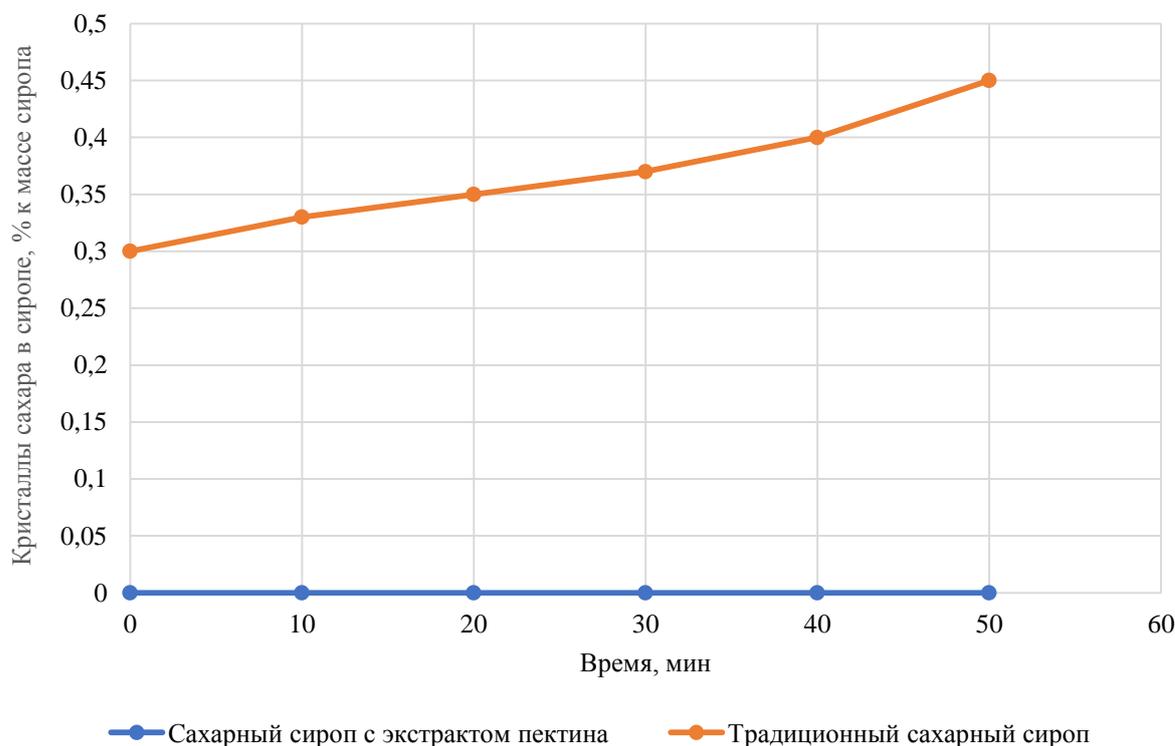


Рис. 4. Анализ сиропа на наличие кристаллов  
Fig. 4. Analysis of the syrup for the presence of crystals



Рис. 5. Изменение вязкости сахарного сиропа в зависимости от концентрации пектинового экстракта  
Fig. 5. Change in the viscosity of sugar syrup depending on the concentration of pectin extract

Анализ данных показывает, что с увеличением концентрации пектина в сиропе растет и его вязкость. Свекловичный пектин повышал вязкость растворов сахарозы с 25 до 295 Па×с при концентрациях пектина от 0,1 до 4 % соответственно. Установлено, что для производства обогащенного пектиновыми веществами сиропа наиболее целесообразно добавлять пектин в диапазоне концентраций 1,5–3,5 %. Содержание пектина в экстракте менее 1,5 % увеличивает количество порций экстракта, что экономически не целесообразно.

При повышенной концентрации пектина в экстракте (более 3,5 %) значительно увеличивается вязкость сахарного сиропа, что существенно усложняет его дальнейшее использование.

Консистенцию сахарного сиропа после кавитационной обработки определяли при аналогичных условиях с помощью механического консистометра Боствика. Результаты измерения представлены на рис. 6.

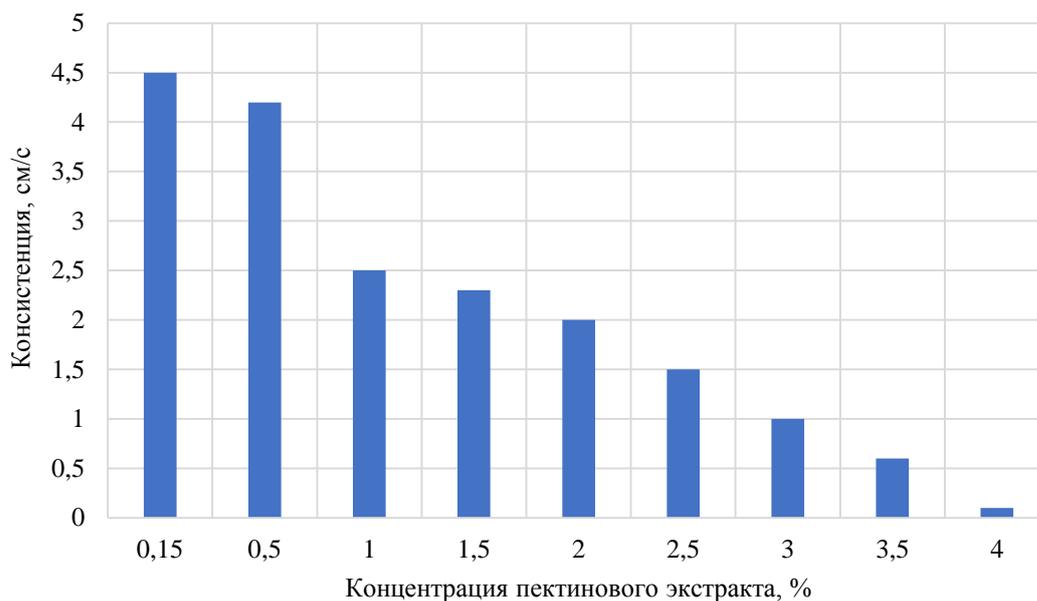


Рис. 6. Изменение консистенции сахарного сиропа после кавитационной обработки в зависимости от концентрации пектинового экстракта

Fig. 6. Change in the consistency of sugar syrup depending on the concentration of pectin extract

Пектиновые вещества в растворе находятся в виде гомогенно диспергированных молекул. С увеличением концентрации пектина в растворе расстояние между молекулами пектина уменьшается, облегчая таким образом межмолекулярные взаимодействия. Исходя из данных, приведенных на рис. 6, видно, что свекловичный пектин существенно влияет на консистенцию сахарного сиропа. Увеличение концентрации экстракта свекловичного пектина в сиропе приводит к возрастанию его консистенции. Таким образом, способность экстракта свекловичного пектина к гелеобразованию и комплексообразованию делает его незаменимым компонентом при изготовлении продуктов, обладающих лечебно-профилактическим действием. Пектиновый экстракт увеличивает вязкость сахарного сиропа, благодаря чему можно сократить количество сахара для его производства, а следовательно, понизить энергетическую ценность получаемого продукта.

### Заключение

Пектиновые вещества свекловичного жома могут быть использованы в качестве ценных ингредиентов для производства новых видов продуктов питания. В ходе исследования разработана технология получения сахарного сиропа с добавлением экстракта свекловичного пектина, содержащего 1,5–3,5 % пектина. Уточнены его органолептические характеристики и реологические свойства. Показано, что при содержании в сиропе более 3,5 % пектина его вязкость увеличивается до 325 Па·с. При концентрации пектина менее 1,5 % вязкость сиропа достигает 55 Па·с, т. е. снижается. Готовый сироп может быть использован для производства напитков, а также хлебобулочных и кондитерских изделий. Введение экстракта пектина свекловичного жома в сахарный сироп позволит улучшить его качественные показатели, а также расширить ассортимент продуктов повышенной пищевой ценности.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- Донченко Л. В., Ластков Д. О. Об актуальности глубокой переработки свекловичного жома в современных условиях // Сахар. 2023. № 2. С. 40–45. DOI: 10.24412/2413-5518-2023-2-40-45 EDN: GCVDHN.
- Ермолаев В. А., Славянский А. А., Митрошина Д. П., Фёдоров Д. Е. Теплофизический расчет сушки свекловичного жома // Сахар. 2022. № 4. С. 20–24. DOI: 10.24412/2413-5518-2022-4-20-24. EDN: СНТВВВ.
- Зобова С. Н., Остриков А. Н., Фролова Л. Н., Копылов М. В. [и др.]. Влияние технологических режимов на изменения состава свекловичного жома при его переработке на Боринском сахарном заводе //

- Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021. Т. 83, № 1(87). С. 71–77. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-71-77>. EDN: FGNCIK.
- Лебедева Н. Н., Славянский А. А., Митрошина Д. П. Усовершенствование процесса кристаллизации сахарозы // Развитие инженерного образования и его роль в технической модернизации АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 65-летию подготовки инженеров-механиков Ижевской государственной сельскохозяйственной академии, Ижевск, 11–13 ноября 2020 г. Ижевск, 2021. С. 135–140. EDN: TNEESM.
- Николаева Н. В., Митрошина Д. П., Славянский А. А., Грибкова В. А. [и др.]. Кристаллы сахарозы как основа сахаросодержащих продуктов // Сахар. 2021. № 8. С. 34–39. DOI: [10.24412/2413-5518-2021-8-34-38](https://doi.org/10.24412/2413-5518-2021-8-34-38). EDN: ONLDGW.
- Рянова Э. Э., Кострюкова Н. В. Получение пектина из свекловичного жома // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 4–1(58). С. 98–101. DOI: [10.23670/IRJ.2017.58.114](https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.58.114). EDN: YKMOPI.
- Сергеева И. Ю., Рябоконева Л. А., Чигина Т. С. Перспективы применения кавитации в пищевой промышленности // Проблемы и перспективы современной научной мысли в России и за рубежом : сб. тез. III Междунар. конф., Кемерово, 15 ноября 2021 г. Кемерово, 2021. С. 53–55. EDN: BRIMXE.
- Славянский А. А., Митрошина Д. П., Грибкова В. А., Ермолаев В. А. Основные отходы сахарного производства и их использование // Сахар. 2022. № 12. С. 30–37. EDN: DSHKOS.
- Славянский А. А., Мойсеяк М. Б., Диденко В. М., Петрова Л. С. Применение пищевых ПАВ для интенсификации технологических процессов продуктового отделения сахарного завода. М. : МГУПП, 2005. 22 с. EDN: YJCART.
- Славянский А. А., Сапронов А. Р., Лобанова А. П., Пугачев В. А. [и др.]. Улучшение условий работы продуктового отделения на Чимшинском сахарном заводе // Сахарная промышленность. 1984. № 10. С. 22–25. EDN: EECNCT.
- Способ получения сахарного сиропа : пат. № 2644552 С1 Рос. Федерация / А. А. Славянский, П. А. Столяренко № 2016135562 ; заявл. 02.09.2016 ; опубл. 13.02.2018. URL: [https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet).
- Тужилкин В. И., Штерман С. В. Сахар в современном мире // Сахар. 2012. № 9. С. 44–51. EDN: PLLWJV.
- Уколов А. И., Родионов В. П., Уколова Ю. В. Использование гидродинамической кавитации на основных этапах пищевых процессов приготовления напитков // сб. тез. докладов участников пула научно-практических конференций. Керчь : КГМТУ, 2021. С. 134–137. URL: [https://kgmtu.ru/documents/nauka/2021/Sbornik\\_Tezisov\\_Sochi\\_2021.pdf](https://kgmtu.ru/documents/nauka/2021/Sbornik_Tezisov_Sochi_2021.pdf). EDN: PHVVEM.
- Штерман С. В., Тужилкин В. И., Штерман В. С., Уразбаева К. А. [и др.]. Современные направления промышленного применения сахарозы // Сахар. 2015. № 7. С. 44–47. EDN: UGRGGT.
- Dranca F., Oroian M. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications // Food Research International. 2018. Vol. 113. P. 327–350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>.
- Gavahian M., Munekata P. E. S., Eş I., Lorenzo J. M. [et al.]. Emerging techniques in bioethanol production: from distillation to waste valorization // Green Chemistry. 2019. Vol. 21, Iss. 6. P. 1171–1185.
- Iwuzor K. O., Emenike E. C., Ighalo J. O., Eshiemogie S. [et al.]. Valorization of sugar industry's by-products: A perspective // Sugar Technology. 2022. Vol. 24, Iss. 4. P. 1052–1078. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01143-1>.
- Jiménez-Islas D., Pérez-Romero M. E., Ventura-Cruz I., Flores-Romero M. B. Sugar beet pulp and research efforts to diversify its use // Sugar Beet Cultivation, Management and Processing / eds.: V. Misra, S. Srivastava, A. K. Mall. Springer, Singapore, 2022. P. 955–969. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0\\_47](https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_47).
- Katakajwala R., Kumar N. A., Chakraborty D., Mohan V. S. Valorization of sugarcane waste: Prospects of a biorefinery // Industrial and Municipal Sludge. Emerging Concerns and Scope for Resource. Butterworth-Heinemann. 2019. P. 47–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815907-1.00003-9>.
- Marzo C., Díaz A. B., Caro I., Blandino A. Status and perspectives in bioethanol production from sugar beet // Bioethanol Production from Food Crops. 2019. P. 61–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813766-6.00004-7>.
- Nair R. B., Taherzadeh M. J. Valorization of sugar-to-ethanol process waste vinasse: A novel biorefinery approach using edible ascomycetes filamentous fungi // Bioresource Technology. 2016. Vol. 221. P. 469–476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.074>.
- Saulnier L., Thibault J.-F. Ferulic acid and diferulic acids as components of sugar-beet pectins and maize bran heteroxylans // Journal of the Science of Food and Agriculture. 1999. Vol. 79, Iss. 3. P. 396–402. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(19990301\)79:3<396::AID-JSFA262>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990301)79:3<396::AID-JSFA262>3.0.CO;2-B).
- Sharma D., Saini A. Lignocellulosic waste valorization and biorefineries concept // Lignocellulosic Ethanol Production from a Biorefinery Perspective. Springer, Singapore, 2020. P. 195–215. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4573-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4573-3_7).

## References

- Donchenko, L. V., Lastkov, D. O. 2023. On the relevance of deep processing of sugar beet pulp in modern conditions. *Sakhar*, 2, pp. 40–45. DOI: 10.24412/2413-5518-2023-2-40-45 EDN: GCVDDH. (In Russ.)
- Ermolaev, V. A., Slavyansky, A. A., Mitroshina, D. P. et al. 2022. Thermophysical calculation of sugar beet pulp drying. *Sakhar*, 4, pp. 20–24. DOI: 10.24412/2413-5518-2022-4-20-24. EDN: CHTBWB. (In Russ.)
- Zobova, S. N., Ostrikov, A. N., Frolova, L. N., Kopylov, M. V. et al. 2021. Influence of technological regimes on changes in the composition of sugar beet pulp during its processing at the Borinsky sugar factory. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(1–87), pp. 71–77. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-71-77>. EDN: FGNCIK. (In Russ.)
- Lebedeva, N. N., Slavyansky, A. A., Mitroshina, D. P. 2021. Improving the process of sucrose crystallization. In coll. articles *The development of engineering education and its role in the technical modernization of the agro-industrial complex*. Izhevsk, pp. 135–140. EDN: TNEESM. (In Russ.)
- Nikolaeva, N. V., Mitroshina, D. P., Slavyansky, A. A. et al. 2021. Sucrose crystals as the basis of sugar-containing products. *Sakhar*, 8, pp. 34–39. DOI: 10.24412/2413-5518-2021-8-34-38. EDN: ONLDGW. (In Russ.)
- Riyanova, E. E., Kostryukova, N. V. 2017. Obtaining pectin from sugar beet pulp. *International Research Journal*, 4–1(58), pp. 98–101. DOI: 10.23670/IRJ.2017.58.114. EDN: YKMOPJ. (In Russ.)
- Sergeeva, I. Yu., Ryabokoneva, L. A., Chigina, T. S. 2021. Prospects for the use of cavitation in the food industry. In coll. articles *Problems and prospects of modern scientific thought in Russia and abroad*. Kemerovo, pp. 53–55. EDN: BRIMXE. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Mitroshina, D. P., Gribkova, V. A., Ermolaev, V. A. et al. 2022. The main wastes of sugar production and their use. *Sakhar*, 12, pp. 30–37. EDN: DSHKOS. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Moiseyak, M. B., Didenko, V. M., Petrova, L. S. et al. 2005. The use of food surfactants for the intensification of technological processes of the food department of a sugar factory. Moscow. EDN: YJCAPT. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Saprnov, A. R., Lobanova, A. P., Pugachov, V. A. et al. 1984. Improving the working conditions of the grocery department at the Chimshinsky sugar factory. *Sakharnaya promyshlennost'*, 10, pp. 22–25. EDN: EECHCT. (In Russ.)
- Slavyansky, A. A., Stolyarenko, P. A. 2018. Method of producing sugar solution, Russian Federation, Pat. 2644552 C1. (In Russ.) URL: [https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet).
- Tuzhilkin, V. I., Shterman, S. V. 2012. Sugar in the modern world. *Sakhar*, 9, pp. 44–51. EDN: PLLWJV. (In Russ.)
- Ukolov, A. I., Rodionov, V. P., Ukolova, Yu. V. 2021. The use of hydrodynamic cavitation at the main stages of food processes in the preparation of drinks. *Collection of abstracts of reports of participants in the pool of scientific and practical conferences*. Kerch, pp. 134–137. URL: [https://kgmtu.ru/documents/nauka/2021/Sbornik\\_Tezisov\\_Sochi\\_2021.pdf](https://kgmtu.ru/documents/nauka/2021/Sbornik_Tezisov_Sochi_2021.pdf). EDN: PHVVEM. (In Russ.)
- Shterman, S. V., Tuzhilkin, V. I., Shterman, V. S. et al. 2015. Modern directions of industrial application of sucrose. *Sakhar*, 7, pp. 44–47. EDN: UGRGGT. (In Russ.)
- Dranca, F., Oroian, M. 2018. Extraction, purification and characterization of pectin from alternative sources with potential technological applications. *Food Research International*, 113, pp. 327–350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.065>.
- Gavahian, M., Munekata, P. E. S., Eş, I., Lorenzo, J. M. et al. 2019. Emerging techniques in bioethanol production: from distillation to waste valorization. *Green Chemistry*, 21(6), pp. 1171–1185.
- Iwuozor, K. O., Emenike, E. C., Ighalo, J. O., Eshiemogie, S. et al. 2022. Valorization of sugar industry's by-products: A perspective. *Sugar Technology*, 24(4), pp. 1052–1078. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01143-1>.
- Jiménez-Islas, D., Pérez-Romero, M. E., Ventura-Cruz, I., Flores-Romero, M. B. 2022. Sugar beet pulp and research efforts to diversify its use. In *Sugar Beet Cultivation, Management and Processing*. Eds.: V. Misra, S. Srivastava, A. K. Mall. Singapore, pp. 955–969. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0\\_47](https://doi.org/10.1007/978-981-19-2730-0_47).
- Katakojwala, R., Kumar, N. A., Chakraborty, D., Mohan, V. S. 2019. Valorization of sugarcane waste: Prospects of a biorefinery. *Industrial and Municipal Sludge. Emerging Concerns and Scope for Resource*. Butterworth-Heinemann, pp. 47–60. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815907-1.00003-9>.
- Marzo, C., Díaz, A. B., Caro, I., Blandino, A. 2019. Status and perspectives in bioethanol production from sugar beet. *Bioethanol Production from Food Crops*, pp. 61–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-813766-6.00004-7>.
- Nair, R. B., Taherzadeh, M. J. 2016. Valorization of sugar-to-ethanol process waste vinasse: A novel biorefinery approach using edible ascomycetes filamentous fungi. *Bioresource Technology*, 221, pp. 469–476. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.074>.

Saulnier, L., Thibault, J.-F. 1999. Ferulic acid and diferulic acids as components of sugar-beet pectins and maize bran heteroxylans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 79(3), pp. 396–402. DOI: [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0010\(19990301\)79:3<396::AID-JSFA262>3.0.CO;2-B](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0010(19990301)79:3<396::AID-JSFA262>3.0.CO;2-B).

Sharma, D., Saini, A. 2020. Lignocellulosic waste valorization and biorefineries concept. *Lignocellulosic In Ethanol Production from a Biorefinery Perspective*. Singapore, pp. 195–215. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-4573-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-981-15-4573-3_7).

#### Сведения об авторах

**Славянский Анатолий Анатольевич** – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004;  
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), д-р техн. наук, профессор;  
e-mail: [mgutu-sahar@mail.ru](mailto:mgutu-sahar@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

**Anatoly A. Slavyansky** – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004;  
Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University),  
Dr Sci. (Engineering), Professor;  
e-mail: [mgutu-sahar@mail.ru](mailto:mgutu-sahar@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

**Митрошина Дарья Петровна** – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004;  
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), аспирант, ассистент;  
e-mail: [d\\_mitr96@mail.ru](mailto:d_mitr96@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

**Daria P. Mitroshina** – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004;  
Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University),  
Ph.D. Student, Assistant; e-mail: [d\\_mitr96@mail.ru](mailto:d_mitr96@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8724-3368>

**Грибкова Вера Анатольевна** – ул. Земляной Вал, 73, г. Москва, 109004;  
Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (Первый казачий университет), канд. техн. наук, доцент;  
e-mail: [vera\\_gribkova@list.ru](mailto:vera_gribkova@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

**Vera A. Gribkova** – 73 Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004;  
Razumovsky Moscow State University of Technology and Management (First Cossack University),  
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor;  
e-mail: [vera\\_gribkova@list.ru](mailto:vera_gribkova@list.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5079-8132>

**Ермолаев Владимир Александрович** – ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, 650056;  
Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, д-р техн. наук, профессор;  
e-mail: [ermolaevvla@rambler.ru](mailto:ermolaevvla@rambler.ru); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-2517>;  
Весенняя ул., 28, г. Кемерово, 650000; Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева

**Vladimir A. Ermolaev** – 5 Markovtseva Str., Kemerovo, 650056; Kuzbass State Agricultural Academy;  
Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: [ermolaevvla@rambler.ru](mailto:ermolaevvla@rambler.ru);  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-2517>;  
28 Vesennyaya Str., Kemerovo, 650000; Gorbachev Kuzbass State Technical University

**Бондарчук Ольга Николаевна** – ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, 650056;  
Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия; аспирант; e-mail: [b120983@list.ru](mailto:b120983@list.ru)

**Olga N. Bondarchuk** – 5 Markovtseva Str., Kemerovo, 650056; Kuzbass State Agricultural Academy,  
Ph.D. Student; e-mail: [b120983@list.ru](mailto:b120983@list.ru)

УДК 637.072

## Разработка технологии соуса молочного с добавлением гуарана

А. С. Хамитова, Б. М. Нурғалиева, К. Е. Белоглазова\*,  
Г. Е. Рысмұхамбетова, Л. М. Иванова

\*Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии  
и инженерии им. Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия;

e-mail: k.beloglazova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

Информация о статье      Реферат

Поступила  
в редакцию  
31.03.2023;

получена  
после доработки  
02.06.2023;

принята к публикации  
02.06.2023

Ключевые слова:

молочный соус,  
полисахариды,  
показатели качества,  
пищевые волокна,  
гуаран,  
молоко

Одним из способов улучшения вкусовых характеристик и повышения пищевой ценности блюд из мяса, рыбы и птицы является включение в их состав различных соусов. Традиционно в состав соусов входят мука пшеничная, овощи, пряности. В настоящее время популярность приобретают порошкообразные растительные композиции из полисахаридов: камеди рожкового дерева и гуарана. На основании проведенных органолептических исследований выбраны образцы соуса молочного с добавлением гуарана в концентрациях 0,5 и 1,0 %, которые сравнивались с контрольным образцом, изготовленным с использованием пшеничной муки. Введение 0,5 % гуарана в состав соуса молочного не изменило уровень массовой доли жира в образце, а добавление 1,0 % гуарана увеличило массовую долю жира в 2,05 раза по сравнению с контролем. Замена пшеничной муки на полисахарид в исследуемых образцах с добавлением гуарана в концентрациях 0,5 и 1,0 % уменьшила уровень массовой доли сухих веществ на 8,3 и 7,9 % и титруемую кислотность – на 3,6 и 5 °Т соответственно. По общепринятым микробиологическим показателям опытные образцы соуса молочного с гуараном соответствуют нормативной документации. В разрабатываемых соусах уменьшилось содержание белков на 22,19 %, жиров – на 2,46 %, углеводов – на 54,76 %, что обусловило снижение энергетической ценности в среднем на 32,16 %. Таким образом, соус молочный с добавлением гуарана можно рекомендовать в качестве диетического продукта для профилактики ожирения, улучшения липидного обмена, снижения уровня холестерина. В ходе определения экономической эффективности внедрения соуса молочного с гуараном в производство установлено, что прибыль составила 9628,26 тыс. руб. при годовой производственной мощности 677,76 т в год.

Для цитирования

Хамитова А. С. и др. Разработка технологии соуса молочного с добавлением гуарана. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 304–315. DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-304-315.

## Development of the technology of milk sauce with the addition of guarana

Almira S. Khamitova, Balseker M. Nurgalieva, Christina E. Beloglazova\*,  
Gyulsara E. Rysmukhambetova, Lyubov M. Ivanova

\*Vavilov Saratov State University of Genetics, Biotechnology  
and Engineering, Saratov, Russia;

e-mail: k.beloglazova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

Article info

Abstract

Received  
31.03.2023;

received  
in revised  
02.06.2023;

accepted  
02.06.2023

Key words:

milk sauce,  
polysaccharides,  
quality indicators,  
dietary fiber,  
guarana,  
milk

One of the ways to improve the taste characteristics and increase the nutritional value of cooked meat, fish and poultry dishes is to include various sauces in their composition. Traditionally, the composition of sauces includes wheat flour, vegetables, spices. Nowadays powdered plant compositions of polysaccharides (PS), such as locust bean gum and guarana, have gained wide popularity. Based on the organoleptic studies performed, samples of milk sauce with the addition of guarana in concentrations of 0.5 and 1.0 % have been selected, which have been compared with a control sample made using wheat flour. The introduction of 0.5 % guarana into the composition of the milk sauce does not change the level of the mass fraction of fat in the sample, and the addition of 1.0 % guarana has increased the mass fraction of fat by 2.05 times compared to the control. Replacing wheat flour with a polysaccharide in the studied samples with the addition of guarana at concentrations of 0.5 and 1.0 % has reduced the level of mass fraction of solids by 8.3 and 7.9 % and titratable acidity by 3.6 and 5 °T, respectively. According to generally accepted microbiological indicators, prototypes of milk sauce with guarana correspond to regulatory documentation. In the developed sauces, the content of proteins has decreased by 22.19 %, fats – by 2.46 %, carbohydrates – by 54.76 %, which led to a decrease in energy value by an average of 32.16 %. Thus, milk sauce with the addition of guarana can be recommended as a dietary product for preventing obesity, improving lipid metabolism, and lowering cholesterol levels. In the course of determining the economic efficiency of introducing milk sauce with guarana into production, it has been found that the profit amounted to 9628.26 thousand rubles with an annual production capacity of 677.76 tons per year.

For citation

Khamitova, A. S. et al. 2023. Development of the technology of milk sauce with the addition of guarana. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 304–315. (In Russ.) DOI: 10.21443/1560-9278-2023-26-3-304-315.

## Введение

Россия в рамках НТИ (платформа "Национальная стратегическая инициатива") концентрируется на новых глобальных рынках, в которых есть возможность создать отрасли нового технологического уклада. Фуднет – рынок продовольствия, основанный на новых производственных, логистических и сбытовых решениях, цифровизации, сетевых рыночных моделях, кастомизации продуктов и услуг, биотехнологиях и ресурсоэффективности агропромышленного комплекса Российской Федерации (АПК РФ).

В настоящее время в России наблюдаются качественные изменения структуры питания населения. Основой здорового питания является сбалансированный по всем пищевым веществам рацион, что находит отражение в соответствующих концепциях (Мальгина и др., 2021).

Соусы, придавая блюдам сочность, особый вкус и аромат, повышают органолептические показатели готовых блюд и изделий, обогащают их химический состав (Беляева и др., 2015; Стрелкова и др., 2021; Ивлева и др., 2014).

В результате технологической обработки, использования неполноценного по химическому составу пищевого сырья организм человека не получает необходимого количества незаменимых компонентов (Линич и др., 2022). Соусы, предназначенные для массового питания, готовят с использованием в качестве загустителей высококалорийных продуктов (муки и крахмала), которые не содержат в полной мере необходимых для организма нутриентов (Ефремкина и др., 2015), что обуславливает необходимость замены традиционных углеводных нутриентов на некрахмальные компоненты, витамины и минеральные вещества (Бутова и др., 2022; Быковская, 2021).

Продукты с добавлением пищевых волокон (ПВ), аминокислот, витаминов и минеральных веществ получили широкое распространение в РФ. В группу пищевых волокон входят полисахариды (ПС), полученные из сырья растительного, животного или микробного происхождения, обладающие уникальными свойствами структурообразования, гелеобразования, стабилизации пищевых систем.

Разработка новых рецептур и технологий соусов, предназначенных для массового питания, является актуальной задачей развития пищевой промышленности. С целью оптимизации технологического процесса были разработаны рецептуры готовых соусов с добавлением ПВ (Моцеевская и др., 2013; Евпатченко, 2011). Производство таких продуктов открывает перспективы для организации сбалансированного питания различных групп населения, а также для совершенствования технологических процессов на предприятиях общественного питания (Евпатченко и др., 2012; Хатко и др., 2020).

Целью настоящего исследования является разработка технологий молочных соусов с использованием полисахарида – гуарана, включающая: 1) изучение функционально-технологических свойств полисахаридов; 2) подбор и научное обоснование концентрации ПС в технологии соусов; 3) разработку технологии приготовления молочных соусов; 4) комплексную оценку показателей качества разработанных соусов; 5) расчет экономической эффективности производства соуса молочного с ПС.

## Материалы и методы

Объектом исследований являлся соус молочный с добавлением полисахаридов.

В работе использовалось пищевое сырье, соответствующее нормативно-технической документации, действующей на территории Российской Федерации. В качестве загустителя применялся гуаран (Guarsar, Индия), соответствующий техническому регламенту ТР ТС 029/2012.

Контрольный образец был изготовлен по рецептуре соуса молочного с пшеничной мукой<sup>1</sup>.

При оценке органолептических показателей использовались качественные методы, которые представляют собой описание внешнего вида, цвета, консистенции, вкуса и запаха. Кроме этого, учитывались допустимые рейтинговые баллы каждой органолептической оценки готового соуса.

В ходе определения показателей соуса молочного с добавлением ПС применяли следующие нормативно-технические документы:

- массовой доли жира – ГОСТ 5867-90, п. 2 (кислотный метод);
- массовой доли влаги – ГОСТ 3626-73, п. 2;
- титруемой кислотности – ГОСТ 3624-92, п. 3 (метод с применением индикатора фенолфталеина);
- количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ) – ГОСТ 10444.15-94, п. 6.2 (метод посева в агаризированные среды);
- бактерий группы кишечных палочек (БГКП) – ГОСТ 32901-2014, п. 8.5;
- золотистого стафилококка *Staphylococcus aureus* – ГОСТ 30347-2016, п. 8.1;
- плесневых грибов и дрожжей – ГОСТ 33566-2015;
- патогенных микроорганизмов, в том числе сальмонелл *Salmonella* – ГОСТ 31659-2012;
- количества *Listeria monocytogenes* – ГОСТ 32031-2012.

<sup>1</sup> Сборник рецептур на продукцию диетического питания для предприятий общественного питания / под ред. М. П. Могильного, В. А. Тутельяна. М. : ДеЛи плюс, 2013. 808 с.

Анализ пищевой и энергетической ценности проводился с помощью таблиц химического состава российских продуктов расчетным методом<sup>2</sup>.

Оценку экономической эффективности производства соуса молочного с полисахаридами выполняли по методике, представленной в работе (Гегечкори, 2009).

Статистическую обработку результатов экспериментов проводили с применением программы StatPlus 2007 Professional 4.9.4.1. Достоверность расчетов устанавливали по параметрическому *t*-критерию Стьюдента, при этом достоверной считали разницу при возможности ошибки  $p < 0,05$ .

### Результаты и обсуждение

В качестве загустителей соусов применяются натуральные соединения: пищевой желатин, агар-агар, крахмал, пектин, гуаровая камедь, камедь рожкового дерева, ксантановая камедь (Пальчикова и др., 2022).

В ходе экспериментов использованы полисахариды растительного происхождения: камедь рожкового дерева и гуаран (Хамитова и др., 2021).

Матрица экспериментов представлена в табл. 1.

Таблица 1. Матрица эксперимента  
Table 1. Experiment matrix

<i>Вариант образца 1</i>										
Контроль	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	1.10
Концентрация камеди рожкового дерева, %										
–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Органолептическая оценка, средний балл										
5,00 ± 0,00	3,56 ± 0,05	4,60 ± 0,07	4,60 ± 0,07	4,64 ± 0,05	4,72 ± 0,06	4,92 ± 0,07	4,88 ± 0,09	4,84 ± 0,08	4,80 ± 0,11	4,80 ± 0,09
<i>Вариант образца 2</i>										
Контроль	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.10
Содержание гуарана, %										
–	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Органолептическая оценка, средний балл										
5,00 ± 0,00	4,56 ± 0,10	4,62 ± 0,15	4,70 ± 0,11	4,80 ± 0,16	4,94 ± 0,04	4,90 ± 0,06	4,90 ± 0,05	4,88 ± 0,06	4,88 ± 0,09	4,94 ± 0,03

В результате экспериментов выяснено, что опытные образцы 1.1–1.5 обладали жидкой и неоднородной консистенцией, а при увеличении концентрации камеди рожкового дерева от 0,6 до 0,7 % образцы 1.6 и 1.7 становились более плотными и нежными. В концентрациях ПС от 0,8 до 1,0 % у образцов 1.8–1.10 появилось неприятное вяжущее послевкусие. Как положительный момент был отмечен тот факт, что запах готового изделия не изменялся с увеличением концентрации ПС.

Добавление камеди рожкового дерева в разной концентрации не влияло на внешний вид и аромат соуса молочного; в то же время увеличение концентрации полисахарида способствовало изменению консистенции соуса: он становился более густым и вязким.

В ходе органолептической оценки отмечено, что соус с добавлением камеди рожкового дерева в концентрации 0,6 % обладал более высокими органолептическими показателями; средний балл составил  $4,92 \pm 0,07$  (табл. 1).

Органолептическая оценка соуса молочного с добавлением камеди рожкового дерева представлена на рис. 1.

Экспериментально установлено, что добавление камеди рожкового дерева в концентрациях 0,1–0,5 % повлияло на консистенцию готового соуса: она была слишком жидкой и неоднородной; при увеличении концентрации от 0,6 % консистенция становилась более плотной и нежной. При добавлении камеди рожкового дерева в концентрации от 0,7 % изменялся вкус соуса: появлялось неприятное вяжущее послевкусие. В результате был выбран наилучший образец 1.6 с содержанием ПС 0,6 %.

Следует отметить, что консистенция опытных образцов с гуараном 2.1–2.4 была жидкой и неоднородной. При увеличении концентрации гуарана от 0,5 до 0,6 % масса опытных образцов соуса 2.5 и 2.6 стала однородной, без комочков, с выраженным запахом молока. При увеличении концентрации гуарана от 0,7

<sup>2</sup> Химический состав российских пищевых продуктов : справочник / под ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. М. : ДеЛи принт, 2002. 236 с.

до 0,9 % консистенция опытных образцов соуса 2.7–2.9 стала густой (со сгустками) и появилось неприятное послевкусие. Добавление гуарана в концентрациях от 0,8 % приводило к ухудшению внешнего вида соуса (цвет изделия изменялся, возникал желтый оттенок). Плотность соуса увеличивалась при концентрации гуарана от 0,5 %; при концентрации до 1,0 % соус становился слишком плотным, что сказывалось на вкусе изделия.

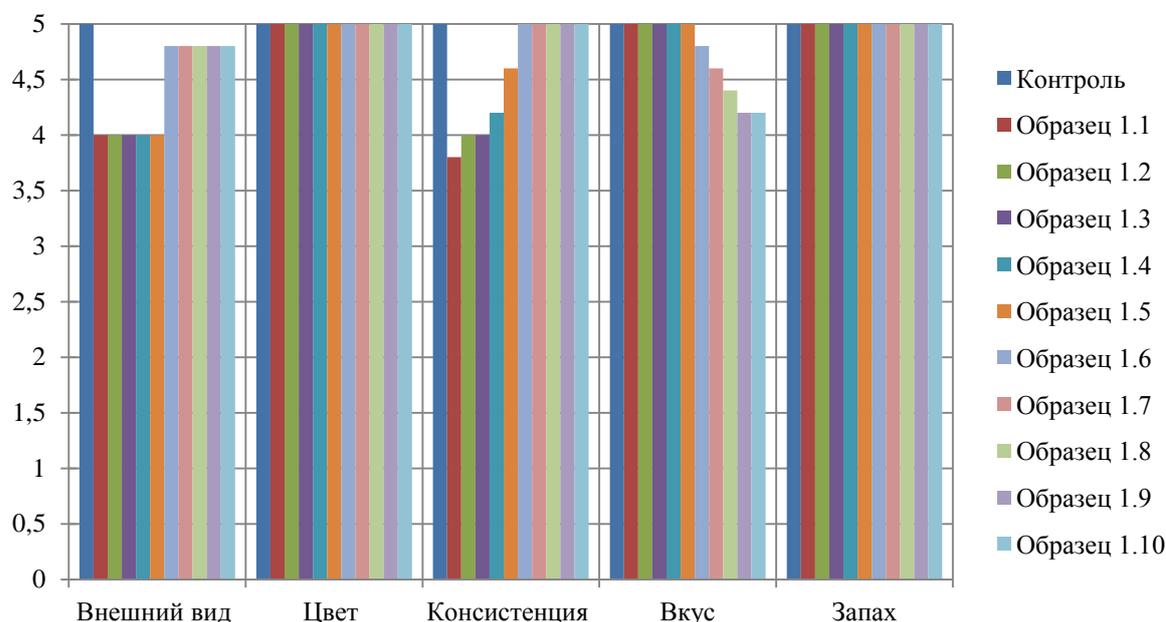


Рис. 1. Органолептическая оценка соуса молочного с добавлением камеди рожкового дерева (собственные исследования)  
Fig. 1. Organoleptic estimation of milk sauce with locust bean gum (own research)

Соус с добавлением гуарана в концентрации 0,5 % обладал более высокими органолептическими показателями; средний балл составил 4,94. Масса опытного соуса стала однородной, без комочков, с выраженным запахом молока, консистенция была полужидкой. При этом образец 2.10 с концентрацией ПС 1,0 % по консистенции, внешнему виду, вкусу и запаху был приближен к контролю (табл. 1).

Органолептическая оценка соуса молочного с добавлением гуарана представлена на рис. 2.

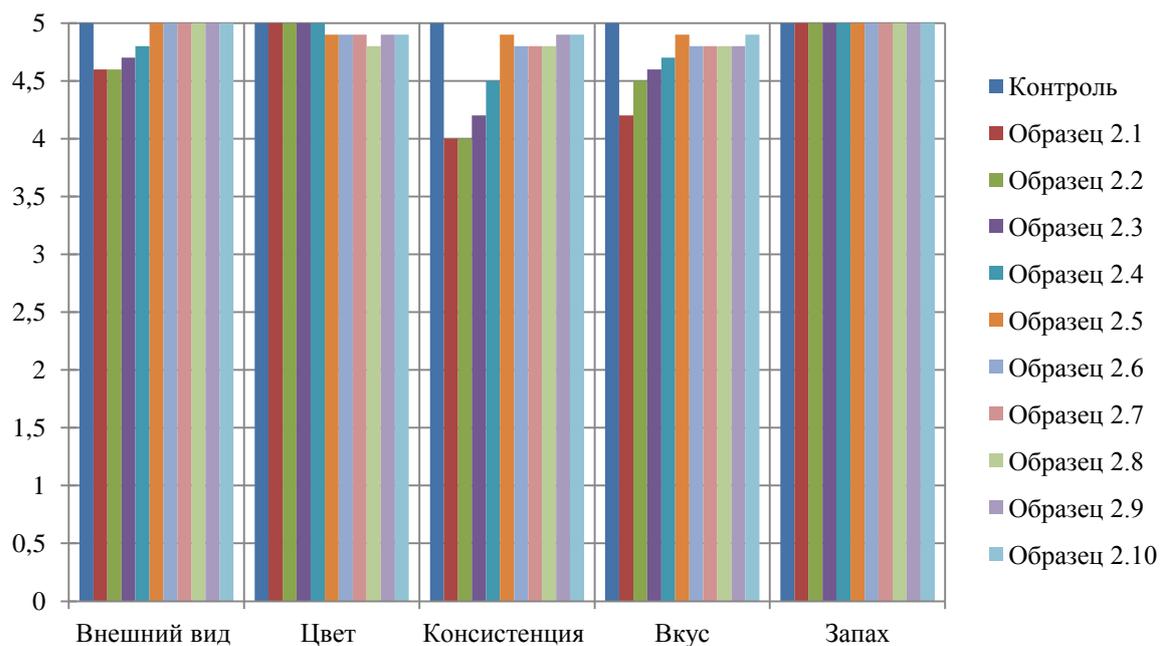


Рис. 2. Органолептическая оценка соуса молочного с добавлением гуарана (собственные исследования)  
Fig. 2. Organoleptic estimation of milk sauce with guarana (own research)

Как видно из рис. 2, в результате органолептических исследований наиболее высокими показателями обладали образцы 2.5 (средний балл  $4,94 \pm 0,04$ ) и 2.10 (средний балл  $4,94 \pm 0,03$ ).

При сравнительном анализе соусов молочных с полисахаридами выявлено, что опытный образец 1.6 по вкусовым качествам уступал контролю по консистенции (она была плотнее массы контрольного образца). При этом образцы 2.5 ( $4,94 \pm 0,18$ ) и 2.10 ( $4,94 \pm 0,21$ ) максимально приближены к контролю: их масса была однородной, без комочков, с выраженным запахом молока.

Таким образом, в ходе экспериментов выбраны два наилучших образца соуса молочного с добавлением гуарана 2.5 и 2.10.

В результате исследований соус молочный с добавлением гуарана в концентрации 0,5 % рекомендуется использовать как начинку для фаршированных котлет из филе кур или дичи, крокетов, для запекания овощей, мяса и рыбы. Соус молочный с добавлением гуарана в концентрации 1,0 % целесообразно подавать к горячим овощным, мясным и крупяным блюдам (Нургалеева, 2022а; 2022б).

В процессе подбора и подготовки компонентов, технологических режимов (температуры, продолжительности тепловой обработки) была разработана технологическая схема приготовления соуса молочного с гуараном (рис. 3).

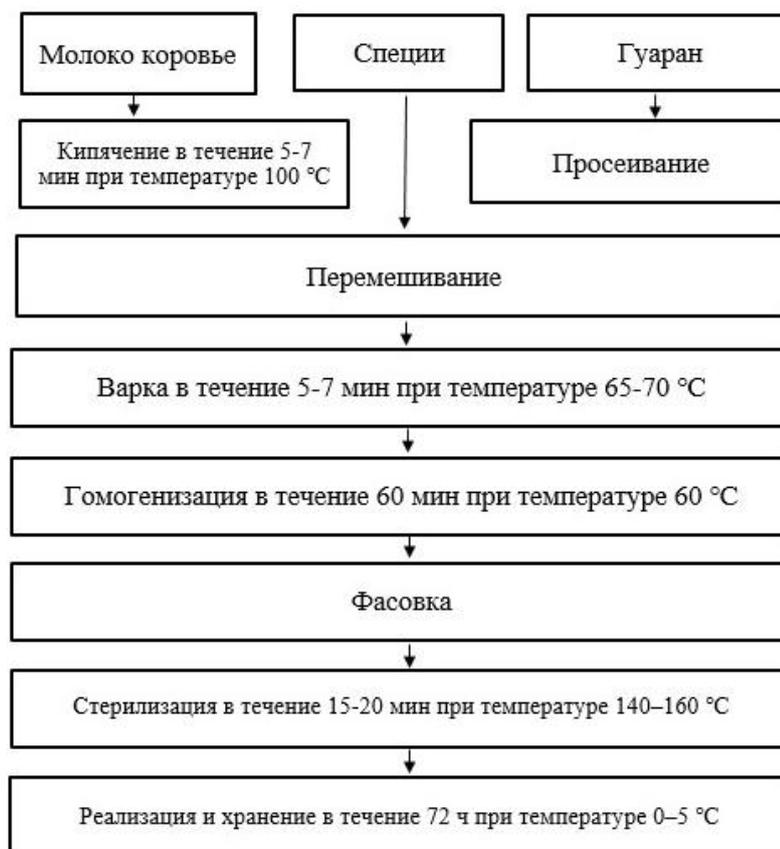


Рис. 3. Технологическая схема приготовления опытных образцов соуса молочного с гуараном (собственные исследования)

Fig. 3. Technological scheme for the preparation of experimental samples of milk sauce with guarana (own research)

Для производства опытных образцов соуса молочного с гуараном не следует закупать специализированное оборудование, так как процесс не усложнен.

Физико-химические показатели разработанных соусов с гуараном представлены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-химические показатели опытных образцов соуса молочного с гуараном  
Table 2. Physical and chemical parameters of experimental samples of milk sauce with guarana

Показатель	Контроль	Образец 2.5	Образец 2.10
Массовая доля жира, %	$2,200 \pm 0,065$	$2,200 \pm 0,065$	$4,500 \pm 0,065$
Массовая доля влаги, %	81,70	90,00	89,60
Массовая доля сухих веществ, %	18,30	10,00	10,40
Титруемая кислотность, °Т	$16,800 \pm 1,900$	$13,200 \pm 1,900$	$11,800 \pm 1,900$

Исходя из данных, указанных в табл. 2, можно сделать вывод, что по массовой доле жира образец 2.5 соответствовал контролю. Повышенная жирность образца 2.10 (выше контроля в 2,05 раза) объясняется, скорее всего, погрешностью эксперимента.

Согласно полученным экспериментальным данным добавление гуарана увеличило влажность двух опытных образцов соуса молочного в среднем в 1,11 раза по сравнению с контролем. Очевидно, что полученные данные связаны с высокой водоудерживающей способностью используемого полисахарида.

В ходе эксперимента установлено, что в контроле общая кислотность составила 16,80 °Т, а замена глютеносодержащего сырья на гуаран снизила кислотность образцов 2.5 и 2.10 до 13,20 и 11,80 °Т соответственно. Понижение кислотности в среднем в 1,35 раза в опытных образцах связано со свойством полисахарида влиять на уровень pH продукта.

Микробиологические показатели опытных образцов соуса молочного с полисахаридами проверяли с учетом сроков хранения в течение 2–72 ч (табл. 3).

Таблица 3. Микробиологические показатели опытных образцов соуса молочного с гуараном  
Table 3. Microbiological parameters of experimental samples of milk sauce with guarana

Образец	Показатель						
	КМАФАнМ, КОЕ/г	БГКП, колиформы	<i>Staphylococcus aureus</i>	Плесневые грибы, КОЕ/г	Дрожжи, КОЕ/г	<i>Salmonella</i>	<i>Listeria monocytogenes</i>
Хранение в течение 2 ч							
ТР ТС 021/2011	–	–	–	–	–	–	–
Контроль	8,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2.5	8,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2.10	3,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Хранение в течение 24 ч							
ТР ТС 021/2011	–	–	–	–	–	–	–
Контроль	8,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2.5	8,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2.10	3,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Хранение в течение 48 ч							
ТР ТС 021/2011	–	–	–	–	–	–	–
Контроль	8,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2.5	15,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2.10	3,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Хранение в течение 72 ч							
ТР ТС 021/2011	Не более 5·10 <sup>3</sup>	0,1	1,0	Не более 50,0	Не более 500,0	25,0	25,0
Контроль	9,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2.5	20,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
2.10	3,0·10 <sup>2</sup>	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о

Примечания. Тире в таблице означает отсутствие данного показателя в ТР ТС 021/2011; н/о – показатели не обнаружены.

Как видно из табл. 3, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в контроле на протяжении 48 ч не изменилось, а спустя 72 ч незначительно увеличилось (на 1,0·10<sup>2</sup> КОЕ/г). В образце 2.10 на протяжении 72 ч хранения значения не изменились. В образце 2.5 спустя 48 ч хранения данный показатель увеличился на 7,0·10<sup>2</sup> КОЕ/г, а спустя 72 ч – еще на 5,0·10<sup>2</sup> КОЕ/г, но при этом данные соответствовали ТР ТС 021/2011.

Положительным моментом было то, что в опытных образцах соуса молочного с гуараном такие показатели, как бактерии группы кишечных палочек, *Staphylococcus aureus*, плесневые грибы, дрожжи, *Salmonella* и *Listeria monocytogenes*, не были обнаружены на протяжении 72 ч хранения.

Следует отметить, что в контроле спустя 72 ч хранения обнаружено незначительное количество плесневых грибов в количестве 1,0·10<sup>2</sup> КОЕ/г.

Таким образом, опытные образцы соуса молочного с гуараном в концентрации 0,5 и 1 % соответствуют ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции". Однако рост КМАФАнМ в опытном образце 2.10

на протяжении экспериментов был ниже этого показателя в образце 2.5 и контроле, что может быть связано со способностью полисахаридов в больших концентрациях выполнять роль консервантов.

Согласно литературным данным гуаран, входящий в состав соуса молочного, не всасывается в верхних отделах кишечника и поступает в неизменном виде в толстую кишку, раздражая при этом ее рецепторы, стимулируя двигательную активность, тем самым оказывая терапевтическое действие на организм. В то же время, по некоторым данным, гуаран способствует снижению уровня глюкозы в крови больных сахарным диабетом (*Imotov et al., 2021*).

Химический состав молочного соуса с гуараном представлен в табл. 4.

Таблица 4. Химический состав соуса молочного с полисахаридом на 100 г готового продукта  
Table 4. Chemical composition of milk sauce with polysaccharide per 100 g of finished product

Показатель	Контроль	Образец 2.5	Образец 2.10
Белки, г	3,72	2,84	2,84
Жиры, г	2,44	2,38	2,38
Углеводы, г	9,88	4,47	4,54
Каротин, мкг	10,00	10,00	10,00
Витамин А, мкг	20,00	20,00	20,00
Витамин В <sub>1</sub> , мг	0,04	0,03	0,03
Витамин В <sub>2</sub> , мг	0,14	0,13	0,13
Витамин РР, мг	0,17	0,09	0,09
Витамин С, мг	0,65	0,65	0,65
Натрий, мг	48,26	47,60	47,69
Калий, мг	151,09	141,86	142,11
Кальций, мг	116,58	115,20	115,20
Магний, мг	14,82	13,58	13,58
Фосфор, мг	92,04	85,52	85,54
Железо, мг	0,19	0,09	0,09
Энергетическая ценность, ккал	76,95	52,08	52,32

Как видно из табл. 4, замена пшеничной муки на гуаран привела к снижению белков на 22,19 %, липидов – на 2,46 %, углеводов – на 54,76 %, что обусловило снижение энергетической ценности в среднем на 32,16 %. В связи с этим соус молочный с добавлением гуарана можно рекомендовать в качестве диетического продукта для улучшения липидного обмена, снижения веса и уровня холестерина.

Что касается содержания витаминного состава, то опытные образцы соуса молочного с гуараном 2.5 и 2.10 уступали контролю по содержанию витаминов группы В (на 25,00 и 7,14 % соответственно), РР (на 47,06 %). При этом содержание каротина, витаминов А и С соответствовало контролю.

В ходе расчетов было отмечено незначительное снижение минеральных веществ; содержание натрия, кальция, магния и фосфора уменьшилось на 1,18; 5,94; 0,99; 7,08 % соответственно. Кроме этого, было отмечено резкое снижение железа на 52,63 % по сравнению с контролем.

Характеризуя полученные данные, следует отметить целесообразность введения в соус гуарана, так как пищевые волокна отличаются способностью связывать и выводить из организма тяжелые металлы и радионуклиды. Кроме того, пищевые волокна угнетают гнилостную микрофлору кишечника, тормозят всасывание холестерина и способствуют выведению его из организма, что имеет большое значение при лечении атеросклероза (*Токарева и др., 2022; Малахова и др., 2018; Kotseva, 2017*).

Разрабатываемые соусы, благодаря своему химическому составу, можно рекомендовать в качестве профилактики лечения ожирения, так как в настоящее время в мире заболеваемость ожирением приобретает характер пандемии: около 38 % населения имеет индекс массы тела ИМТ  $\geq 30$  кг/м<sup>2</sup> (*Жукова, 2016*).

Экономическая эффективность предлагаемой технологии оценивалась с учетом основных затрат на приобретение производственного оборудования, сырья и материалов, заработной платы, капитальных и текущих расходов (*Гегечкори, 2009*).

Машинно-аппаратная схема производства соуса молочного с добавлением с гуарана показана на рис. 4.

На линии выполняются следующие операции. Коровье молоко пастеризуется в ванной для длительной пастеризации 1, затем подготовленное молоко поступает в резервуар для варки вязких смесей 2, где далее смешивается с гуараном, который доставляется с помощью автоматического весового дозатора 3. Далее компоненты рецептурной смеси перемешиваются, обрабатываются в двоянной системе дезинтеграторов 4 и направляются в гомогенизатор 5. С целью исключения окислительных процессов в продукте при его стерилизации и хранении масса деаэрируется в деаэраторе 6, а затем подогрывается в подогревателе 7.

Подготовленная масса фасуется на фасовочной машине 8 и укупоривается на закаточной машине 9. Укупоренные банки стерилизуются на стерилизаторе 10 и далее направляются на ленточный транспортер 11.

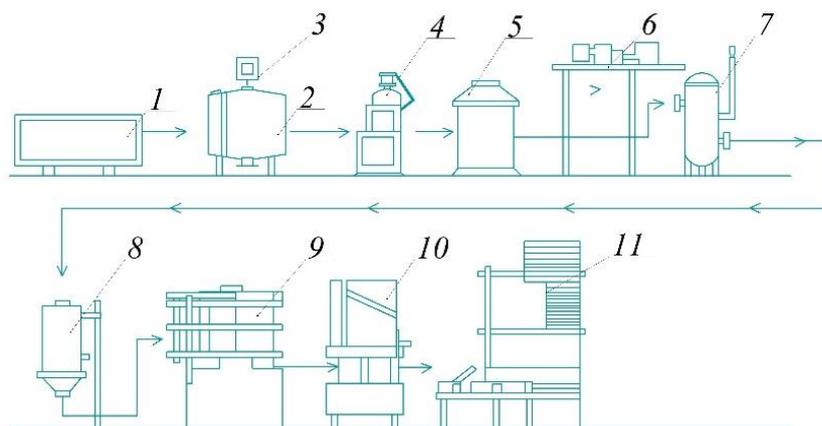


Рис. 4. Машинно-аппаратная схема производства соуса молочного с гуараном (собственные исследования)  
Fig. 4. Machine-hardware scheme for the production of milk sauce with guarana (own research)

Основные расчетные показатели экономической эффективности проекта производства соуса молочного с гуараном представлены на рис. 5.

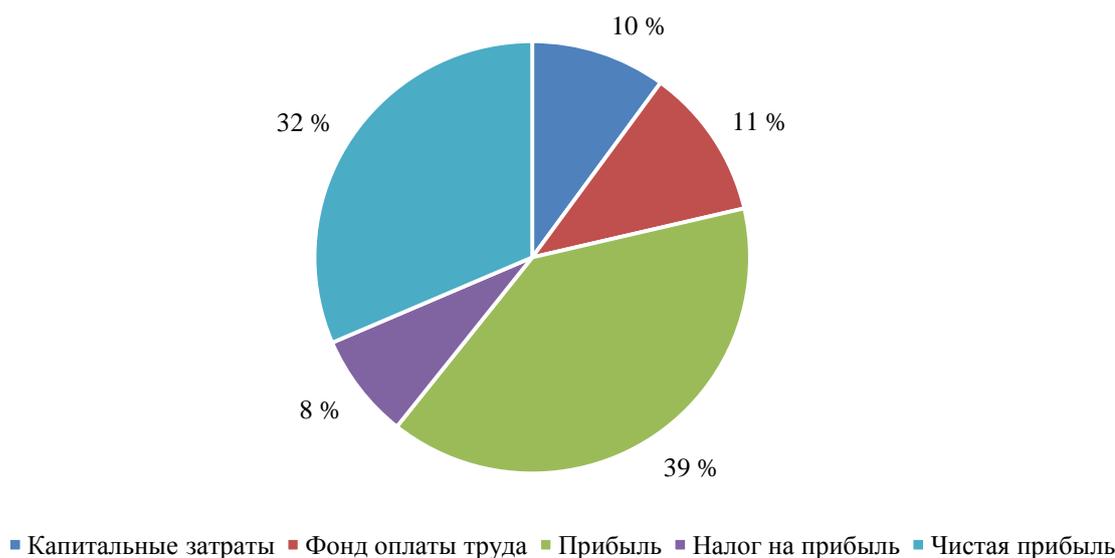


Рис. 5. Экономические показатели эффективности внедрения в производство молочного соуса с гуараном, % (собственные исследования)  
Fig. 5. Economic effectiveness indicators of introducing into production of milk sauce with guarana, % (own research)

Годовая мощность выпуска продукции составила 677,76 т (среднесуточная выработка 0,6 т). При этом себестоимость сырья и материалов соуса молочного с гуараном массой 0,3 т, используемых при изготовлении образца 2.5, составила 76,87 тыс. руб., образца 2.10 – 78,53 тыс. руб. (цена указана на 01.12.2022 г.).

В ходе расчетов определена себестоимость производства, т. е. сумма реально понесенных предприятием затрат, связанных с выпуском продукции: расходов на сырье, материалы, электроэнергию, воду, заработную плату, отчислений на социальные нужды, расходов на подготовку и освоение производства, транспортные, общехозяйственные и общепроизводственные нужды. Полная себестоимость соуса молочного с гуараном массой 677,76 т включала как производственную себестоимость, так и непроизводственные расходы и составила 26 330,98 тыс. руб.

В процессе изготовления соуса молочного с гуараном были привлечены 18 сотрудников; продолжительность рабочего времени каждого работника составила 8 ч. С учетом действующего минимального размера оплаты труда определен годовой фонд заработной платы – 3 466,60 тыс. руб.

Для производства соуса было выбрано технологическое оборудование "СтанГрад" (Россия) стоимостью 2 601 тыс. руб. Затраты на воду, электроэнергию, транспорт, общепроизводственные и общехозяйственные нужды составили за декабрь 2022 г. 10,02 тыс. руб.

При расчете рентабельности учитывалась полная себестоимость готовой продукции и прибыль при ее реализации. На основании полученных данных установлен расчетный срок окупаемости вырабатываемой продукции – соуса молочного с гуараном, составляющий 0,32 года при рентабельности 45,71 % и объеме выработки 677,76 т в год.

#### **Заключение**

В результате исследований:

- показана целесообразность использования в технологиях соусов разрешенных к применению в пищевой промышленности полисахаридов, обусловленная свойствами полисахаридных компонентов;
- на основе исследований органолептических показателей выбран полисахарид – гуаран – в концентрациях 0,5 и 1 %;
- разработаны рецептурно-технологические решения для производства соуса молочного с гуараном в концентрациях 0,5 и 1 %.

По органолептическим, физико-химическим, микробиологическим свойствам и пищевой ценности разработанные соусы соответствуют ТР ТС 021/2011. Расчетный срок окупаемости вырабатываемой продукции составил 0,32 года при рентабельности 45,71 % и объеме выработки готового соуса молочного с гуараном 677,76 т в год.

#### **Конфликт интересов**

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### **Библиографический список**

- Беляева Ю. А., Тарасенко Н. А. Использование пищевых волокон для повышения качества и пищевой ценности заварных пряников // Проблемы и перспективы современной науки. 2015. № 6. С. 71–75. EDN: UBGWAF.
- Бутова С. Н., Кнох К. В., Федоров А. В. Разработка рецептуры сухого сладкого соуса с использованием сухого концентрата молочной сыворотки // Молодой ученый. 2022. № 18(413). С. 106–110. EDN: TAEVBV.
- Быковская Е. И. Обоснование использования пищевых волокон при разработке молочных пищевых продуктов функционального питания // Проблемы конкурентоспособности потребительских товаров и продуктов питания : сб. науч. ст. 3-й Междунар. науч.-практ. конф., г. Курск, 9 апреля 2021 г. Курск, 2021. С. 98–101.
- Гегечкори О. Н. Экономическое обоснование эффективности проектов в пищевой промышленности. Калининград : КГТУ, 2009. 33 с.
- Евпатченко Ю. В. Разработка технологий соусов с полисахаридными компонентами: авторефер. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.15. Москва, 2011. 19 с.
- Евпатченко Ю. В., Вольф Е. Ю., Птичкина Н. М. Маркетинговые исследования рынка как один из этапов создания новых обогащенных продуктов // Проблемы современной науки. 2012. № 5–2. С. 52–58. EDN: PZKRRZ.
- Ефремкина Н. В., Ушакова Ю. В., Рысмухамбетова Г. Е. Разработка соуса молочного сладкого лечебно-диетического назначения // Технология и продукты здорового питания : материалы IX Междунар. науч.-практ. конф., посвященной 20-летию специальности "Технология продукции и организация общественного питания" (г. Саратов, 01–12 декабря 2015 г.). Саратов, 2015. С. 115–117. EDN: XGQTJB.
- Жукова К. Глютен на рынке: пути развития и перспективы // Хлебопечение. Кондитерская сфера. 2016. № 5(67). С. 6–9. EDN: YZLLUX.
- Ивлева А. Р., Канарская З. А. Применение полисахаридов в качестве гидроколлоидов в пищевых продуктах // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17, № 14. С. 418–422. EDN: STIBUX.
- Линич Е. П., Сафонова Э. Э. Функциональное питание. СПб. : Лань, 2022. 180 с.
- Малахова Т. А., Шевченко Н. П. Пищевое волокно, как представитель неотъемлемого компонента в питании человека // Вестник научных конференций. 2018. № 6–2(34). С. 124–126. EDN: UTPAGM.
- Малыгина М. А., Разумова В. О., Черняткина С. А. Проект производства соуса на молочной основе // Беловский сборник ; материалы науч. конф. с междунар. участием и III Регионального конкурса молодежных социально-экономических проектов по развитию сельских территорий. Вып. 7, Вологда, 2021. С. 202–206. EDN: LIGRZR.
- Мошевикина Т. В., Елисеева О. Н. Соусы на молочной основе // Технология производства и переработки сельскохозяйственной продукции : сб. науч. трудов ДальГАУ. Вып. 12. Благовещенск, 2013. С. 27–32. EDN: XRZYHJ.
- Нургалиева Б. М., Саукенова М. М., Белоглазова К. Е., Рысмухамбетова Г. Е. [и др.]. Проектирование паштета из конины с характеристиками специализированного пищевого продукта // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2022а. № 2–3(386–387). С. 73–77. DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.2-3.14>. EDN: NLPHVA.

- Нурғалиева Б. М., Саукенова М. М., Белоглазова К. Е., Рысмукхамбетова Г. Е. [и др.]. Разработка рецептуры и технологии мясных паштетов из конины с добавлением гуарона // *Мясная индустрия*. 2022б. № 6. С. 49–52. DOI: <https://doi.org/10.37861/2618-8252-2022-06-49-52>. EDN: CRNTKP.
- Пальчикова С. С., Дерканосова Н. М. Пищевые волокна: свойства, перспективы применения в пищевых технологиях // Молодежный вектор развития аграрной науки ; материалы 73-й Национальной науч.-практ. конф. студентов и магистрантов, г. Воронеж, 01 апреля–31 мая 2022 г. Воронежский государственный аграрный университет. 2022. С. 473–477.
- Стрелкова А. К., Клименко Н. А., Красина И. Б., Филиппова Е. В. Влияние пищевых волокон на вязкоупругие свойства пищевых волокон // *Наука, техника и инженерное образование в эпоху цифровизации и глобализации ; материалы 63-й Междунар. сетевой науч.-техн. конф. молодых ученых, аспирантов, магистрантов и студентов, г. Бишкек, 25–26 марта 2021 г. / Кыргызский государственный технический университет им. И. Раззакова. Бишкек, 2021. С. 580–585. EDN: TRNWZJ.*
- Токарева В. Д., Савинова А. А. Применение пищевых волокон в питании людей XXI в. // *Гуманитарный вестник Донского государственного аграрного университета*. 2022. № 2. С. 180–184. EDN: ERCAAL.
- Хамитова А. С., Белоглазова К. Е., Рысмукхамбетова Г. Е., Ушакова Ю. В. Создание технологии соуса молочного с добавлением полисахаридов // АПК России: образование, наука, производство : сб. статей; материалы II Всерос. (национальной) науч.-практ. конф., Саратов, 28–29 сентября 2021 г. Пенза : ПГАУ, 2021. С. 174–177. EDN: EFKHET.
- Хатко З. Н., Тамахина М. А. Разработка холодных соусов функционального назначения на основе молочной сыворотки и овощных порошков // *Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы ; материалы VI Междунар. науч.-практ. онлайн-конф., 25 ноября 2020 г., Майкоп, 2020. С. 562–564. EDN: JQJXQU.*
- Imomov X., Shkurov I., Mamarasulov Z., Bozorov Z. The significance of dietary fibers in the diet // *Точная наука*. 2021. № 108. С. 2–4.
- Kotseva K. The EUROASPIRE surveys: lessons learned in cardiovascular disease prevention. *Cardiovasc Diagn Ther*. 2017. № 7(6). pp. 633–639.

## References

- Belyaeva, Yu. A., Tarasenko, N. A. 2015. The use of dietary fiber to improve the quality and nutritional value of custard gingerbread. *Problems and Prospects of Modern Science*, 6, pp. 71–75. EDN: UBGWAF. (In Russ.)
- Butova, S. N., Knoch, K. V., Fedorov, A. V. 2022. Development of a recipe for dry sweet sauce using dry whey concentrate. *Molodoi uchyony*, 18(413), pp. 106–110. EDN: TAEVBV. (In Russ.)
- Bykovskaya, E. I. 2021. Substantiation of dietary fibers in the development of dairy food products of functional nutrition. In coll. articles *Problems of competitiveness of consumer goods and food products*. Kursk, pp. 98–101. (In Russ.)
- Gegechkori, O. N. 2009. Economic effectiveness rationale of projects in food industry. Kaliningrad. (In Russ.)
- Yevpatchenko, Yu. V. 2011. Development of technologies for sauces with polysaccharide components. Abstract of Ph.D. dissertation. Moscow. (In Russ.)
- Yevpatchenko, Yu. V., Wolf, E. Yu., Ptichkina, N. M. 2012. Market research as one of the stages of creating new enriched products. *Problems of Modern Science*, 5–2, pp. 52–58. EDN: PZKRRZ. (In Russ.)
- Efremkina, N. V., Ushakova, Yu. V., Rysmukhambetova, G. E. 2015. Development of milk sweet sauce for medical and dietary purposes. Proceedings of IX Intern. scient.-pract. conf. *Technology and Healthy Food Products*, Saratov, pp. 115–117. EDN: XGQTJB. (In Russ.)
- Zhukova, K. 2016. Gluten in the market: Ways of development and prospects. *Khlebopechenie. Konditerskaya sfera*, 5(67), pp. 6–9. EDN: YZLLUX. (In Russ.)
- Ivleva, A. R., Canarskaya, Z. A. 2014. The use of polysaccharides as hydrocolloids in food products. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 17(14), pp. 418–422. EDN: STIBUX. (In Russ.)
- Linich, E. P., Safonova, E. E. 2022. Functional nutrition. St. Petersburg. (In Russ.)
- Malakhova, T. A., Shevchenko, N. P. 2018. Dietary fiber as a representative of an integral component in human nutrition. *Bulletin of Scientific Conferences*, 6–2(34), pp. 124–126. EDN: UTPAGM. (In Russ.)
- Malygina, M. A., Razumova, V. O., Chernyatkina, S. A. 2021. Milk-based sauce production project. *Belovsky collection*. Iss. 7, Vologda, pp. 202–206. EDN: LIGRZR. (In Russ.)
- Moshchevikina, T. V., Eliseeva, O. N. 2013. Milk-based sauces. In coll. articles *Technology of production and processing of agricultural products*, Blagoveshchensk, pp. 27–32. EDN: XRZYHJ. (In Russ.)
- Nurgaliev, B. M., Saukenova, M. M., Beloglazova, K. E., Rysmukhambetova, G. E. et al. 2022a. Designing a horsemeat pate with the characteristics of a specialized food product. *News of Universities. Food Technology*, 2–3(386–387), pp. 73–77. DOI: <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.2-3.14>. EDN: NLPHVA. (In Russ.)
- Nurgaliev, B. M., Saukenova, M. M., Beloglazova, K. E., Rysmukhambetova, G. E. et al. 2022b. Development of the recipe and technology of meat pates from horse meat with the addition of guarone. *Meat Industry Journal*, 6, pp. 49–52. DOI: <https://doi.org/10.37861/2618-8252-2022-06-49-52>. EDN: CRNTKP. (In Russ.)

- Palchikova, S. S., Derkanosova, N. M. 2022. Dietary fibers: Properties, prospects for application in food technologies. Proceedings of 73 National conf. *Youth Vector of Development of Agricultural Science*. Voronezh, pp. 473–477. (In Russ.)
- Strelkova, A. K., Klimenko, N. A., Krasina, I. B., Filippova, E. V. 2021. Influence of food fibers on the viscous and elastic properties of food fibers. Proceedings of 63 Intern. conf. *Science, technology and engineering education in the era of digitalization and globalization*, Bishkek, pp. 580–585. EDN: TRNWZJ. (In Russ.)
- Tokareva, V. D., Savinova, A. A. 2022. The use of dietary fiber in human nutrition of the XXI century. *Humanitarian Bulletin of the Don State Agrarian University*, 2, pp. 180–184. EDN: ERCAAL. (In Russ.)
- Khamitova, A. S., Beloglazova, K. E., Rysmukhambetova, G. E., Ushakova, Yu. V. 2021. Creation of technology of milk sauce with the addition of polysaccharides. Coll. of articles *Agroindustrial Complex of Russia: Education, Science, Production*, Saratov, 28–29 September 2021. Penza, pp. 174–177. EDN: EFKHET. (In Russ.)
- Khatko, Z. N., Tamakhina, M. A. 2020. Development of functional cold sauces based on whey and vegetable powders. Proceedings of VI Intern. conf. *Science, education and innovations for the agro-industrial complex: State, problems and prospects*, Maykop, pp. 562–564. EDN: JQJXQU. (In Russ.)
- Imomov, X., Shkurov, I., Mamarasulov, Z., Bozorov, Z. 2021. The significance of dietary fibers in the diet. *Tochnaya nauka*, 108, pp. 2–4.
- Kotseva, K. 2017. The EUROASPIRE surveys: Lessons learned in cardiovascular disease prevention. *Cardiovasc Diagn Ther.*, 7(6), pp. 633–639.

#### Сведения об авторах

**Хамитова Альмира Салтанаевна** – пр. Столыпина, 4, стр. 3, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, магистр; e-mail: k.beloglazova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8716-7206>

**Almira S. Khamitova** – 4/3 Peter Stolypin Ave., Saratov, Russia, 410012; Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Master's Degree; e-mail: k.beloglazova@yandex.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8716-7206>

**Нурғалиева Балсекер Муратовна** – ул. Маметовой, 81, г. Уральск, Казахстан, 090006; Казахстанский университет инновационных и телекоммуникационных систем, ст. преподаватель; e-mail: janslu\_0@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8700-6629>

**Balseker M. Nurgalieva** – 81 Mametova Str., Uralsk, Republic of Kazakhstan, 090006; Kazakhstan University of Innovative and Telecommunication Systems, Senior Lecturer; e-mail: janslu\_0@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8700-6629>

**Белоглазова Кристина Евгеньевна** – пр. Столыпина, 4, стр. 3, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, канд. с.-х. наук, ассистент; e-mail: k.beloglazova@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

**Christina E. Beloglazova** – 4/3 Peter Stolypin Ave., Saratov, Russia, 410012; Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Cand. Sci. (Agriculture), Assistant; e-mail: k.beloglazova@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0665-9928>

**Рысмұхамбетова Гүлсара Есенгильдиевна** – пр. Столыпина, 4, стр. 3, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, канд. биол. наук, доцент; e-mail: gerismuh@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4224-5922>

**Gyulsara E. Rysmukhambetova** – 4/3 Peter Stolypin Ave., Saratov, Russia, 410012; Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Cand. Sci. (Biology), Associate Professor; e-mail: gerismuh@yandex.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4224-5922>

**Иванова Любовь Михайловна** – пр. Столыпина, 4, стр. 3, г. Саратов, Россия, 410012; Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, канд. пед. наук, доцент; e-mail: ivanovaalm@sgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3810-9223>

**Lyubov M. Ivanova** – 4/3 Peter Stolypin Ave., Saratov, Russia, 410012; Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Cand. Sci. (Pedagogy), Associate Professor; e-mail: ivanovaalm@sgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3810-9223>

Нормативные документы, использованные в статье

ГОСТ 5867-90	Молоко и молочные продукты. Методы определения жира. Введ. 1991-07-01. М. : Стандартиформ, 2009. 58 с.
ГОСТ 3626-73	Молоко и молочные продукты. Методы определения влаги и сухого вещества. Введ. 1974-07-01. М. : Стандартиформ, 2009. 58 с.
ГОСТ 3624-92	Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности. Введ. 1994-01-01. М. : Стандартиформ, 2009. 8 с.
ГОСТ 10444.15-94	Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов. Введ. 1996-01-01. М. : Стандартиформ, 2010. 136 с.
ГОСТ 32901-2014	Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа. Введ. 2016-01-01. М. : Стандартиформ, 2015. 24 с.
ГОСТ 30347-2016	Молоко и молочная продукция. Методы определения <i>Staphylococcus aureus</i> . Введ. 2017-09-01. М. : Стандартиформ, 2016. 14 с.
ГОСТ 33566-2015	Молоко и молочная продукция. Определение дрожжей и плесневых грибов. Введ. 2016-07-01. М. : Стандартиформ, 2019. 13 с.
ГОСТ 31659-2012	Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода <i>Salmonella</i> . Введ. 2021-08-23. М. : Стандартиформ, 2014. 19 с.
ГОСТ 32031-2012	Продукты пищевые. Методы выявления бактерий <i>Listeria Monocytogenes</i> . Введ. 2014-07-01. М. : Стандартиформ, 2014. 25 с.
ТР ТС 029/2012	Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств (с изменениями на 18 сентября 2014 г.). URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/902359401">https://docs.cntd.ru/document/902359401</a> .
ТР ТС 021/2011	О безопасности пищевой продукции (с изменениями на 14 июля 2021 г.). URL: <a href="https://docs.cntd.ru/document/902320560">https://docs.cntd.ru/document/902320560</a> .

УДК 66-5

## К вопросу о совершенствовании математической модели процесса пиролиза в дымогенераторах с терморadiационным энергоподводом периодического и непрерывного действия

Г. О. Шокин, К. С. Мандрыка, Ю. В. Шокина\*

\*Мурманский арктический университет, г. Мурманск, Россия;

e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
20.06.2023;

получена  
после доработки  
07.08.2023;

принята к публикации  
07.08.2023

### Ключевые слова:

дымогенератор,  
пиролиз,  
теплофизические  
характеристики,  
моделирование

Широкое применение копчения в технологиях мясных и рыбных продуктов повышает актуальность проблемы повышения канцерогенной безопасности технологических копильных сред. Контроль температуры пиролиза древесного топлива в дымогенераторах является эффективным способом решения указанной проблемы. Цель исследования – создание математической модели непрерывного процесса получения копильного дыма в дымогенераторе с терморadiационным энергоподводом для оптимизации его температурных режимов и повышения канцерогенной безопасности вырабатываемого копильного дыма. Экспериментально определены теплофизические характеристики (ТФХ) слоя древесного топлива с различной влажностью и насыпной плотностью – коэффициент теплопроводности, объемная теплоемкость и коэффициент температуропроводности. Предложено математическое описание непрерывного процесса дымогенерации с терморadiационным энергоподводом в виде системы дифференциальных уравнений тепло- и массопередачи. Выполнено моделирование температуры в генерирующем слое топлива с уточненными ТФХ слоя, что позволило повысить точность разработанной ранее модели для аппарата периодического действия.

### Для цитирования

Шокин Г. О. и др. К вопросу о совершенствовании математической модели процесса пиролиза в дымогенераторах с терморadiационным энергоподводом периодического и непрерывного действия. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 316–334. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-316-334>.

## On the issue of improving the mathematical model of the pyrolysis process in smoke generators with thermal radiation power supply of periodic and continuous action

Grigoriy O. Shokin, Konstantin S. Mandryka, Yulia V. Shokina\*

\*Murmansk Arctic University, Murmansk, Russia;

e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

### Article info

Received  
20.06.2023;

received  
in revised form  
07.08.2023;

accepted  
07.08.2023

### Key words:

smoke generator,  
pyrolysis,  
thermophysical  
characteristics,  
modeling

### Abstract

The widespread use of smoking in the technologies of meat and fish products increases the urgency of the problem of increasing the carcinogenic safety of technological smoking media. Controlling the pyrolysis temperature of wood fuel in smoke generators is an effective way to solve this problem. The aim of the study is to create a mathematical model of the continuous process of producing smoky smoke in a smoke generator with a thermoradiative energy supply to optimize its temperature conditions and increase the carcinogenic safety of the produced smoky fume. The thermophysical characteristics (TPC) of a wood fuel layer with different humidity and bulk density – thermal conductivity coefficient, volumetric heat capacity and thermal conductivity coefficient – have been experimentally determined. A mathematical description of the continuous process of smoke generation with thermal radiation energy supply in the form of a system of differential equations of heat and mass transfer has been proposed. The simulation of the temperature in the generating fuel layer with the refined TPC of the layer has been performed, which makes it possible to increase the accuracy of the previously developed model for the periodic device.

### For citation

Shokin, G. O. et al. 2023. On the issue of improving the mathematical model of the pyrolysis process in smoke generators with thermal radiation power supply of periodic and continuous action. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 316–334. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-316-334>.

## Введение

В последнее десятилетие неуклонно растет потребление копченых продуктов питания и продуктов, прошедших промежуточную обработку дымовым копчением, – рыбы, различных мясных изделий и сыров (Shokin et al., 2020; Bundy et al., 2017). Применение традиционного дымового копчения, как известно, влечет за собой неизбежное заражение продуктов полиароматическими углеводородами (ПАУ) типа 3,4-бенза(а)пирена, обладающими мощным канцерогенным действием на организм человека (Hitzel et al., 2013; Essumang et al., 2013; Fasano et al., 2016; Skaljaca et al., 2019). Эти соединения являются продуктами распада основных химических компонентов древесины, из которой получают дым (целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина) путем пиролиза при температуре выше 380 °С (Skaljaca et al., 2019; Thorson et al., 2017) в аппаратах и устройствах различной конструкции.

Содержание ПАУ в копченых пищевых продуктах ограничено предельно допустимыми концентрациями, которые установлены законодательством отдельных стран, и колеблется в Российской Федерации и странах Евросоюза в диапазоне от 1 до 5 мкг/кг продукции в зависимости от ее вида.

Однако в отдельных продуктах в зависимости от способа получения дыма (способа дымогенерации) и вида используемой древесины, способа и длительности обработки продукта дымом (Hitzel et al., 2013) содержание ПАУ может существенно превышать указанные выше нормативные значения, достигая значений от 250 до 1 736 мг/кг в копченой рыбе (тунец, скумбрия, сардина) (Essumang et al., 2013) и значений от 300 до 1 779 мг/кг в копченой колбасе (Fasano et al., 2016; Skaljaca et al., 2018). С учетом систематического употребления таких продуктов питания населением следует ожидать роста онкозаболеваний, поражающих систему пищеварения человека – кишечник, желудок, поджелудочную железу, печень.

Уменьшить заражение копченых продуктов питания опасными соединениями можно путем кардинального изменения подходов к проектированию оборудования для дымогенерации и собственно копчения. Целесообразно уже на стадии проектирования техники для копчения исключить возможность образования канцерогенных соединений при пиролизе древесины, т. е. конструктивно обеспечить возможность управления температурой пиролиза древесины в течение всего процесса дымогенерации. Только надежное поддержание температуры пиролиза древесного топлива на уровне ниже известных канцерогенных пиков (более 380...450 °С) позволит практически исключить образование полиароматических углеводородов и обеспечить высокую канцерогенную безопасность копченой пищевой продукции.

Дым, который используют для копчения пищевых продуктов, является аэрозолем, в состав которого входит большое количество химических соединений, способных взаимодействовать друг с другом и с продуктом, формируя в нем необходимые технологические эффекты – образование характерного "копченого" цвета поверхности, вкуса и аромата. Качественный и количественный состав этих соединений обуславливает качество, потребительские свойства и безопасность копченых продуктов (Ким, 2002).

Большинство ученых, работающих в области копильных технологий, считают наиболее важными для формирования практически всех положительных эффектов копчения фенольные и карбонильные соединения дыма. К отрицательным эффектам копчения относят заражение продуктов ПАУ, которые также содержатся в копильном дыме и образуются при температурах пиролиза свыше 400 °С (Skaljaca et al., 2018; Thorson et al., 2017). По данным многих исследователей, для получения копильного дыма с хорошими функционально-технологическими свойствами необходимо обеспечить температуру пиролиза древесины, близкую к температуре ее воспламенения – от 220 до 350 °С (Ким, 2002). Превышение температурой пиролиза значения 350 °С способствует снижению доли активных компонентов дыма и интенсивному распаду целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина с активным образованием ПАУ.

Таким образом, задача повышения канцерогенной безопасности копченых продуктов питания, большая часть которых позиционируется потребителем как деликатесная, сводится к поиску технического решения по обеспечению температуры пиролиза древесины в процессе дымогенерации на уровне, не превышающем 400 °С.

Актуальность этой задачи на сегодня чрезвычайно высока и не вызывает сомнений, поскольку доля дымогенераторов, в которых отсутствует возможность автоматического поддержания температуры пиролиза на заданном оптимальном уровне, составляет не менее 50 % (Shokin et al., 2021).

Проведенный патентный поиск и обзор научной и технической литературы, а также обзор официальных сайтов производителей копильных аппаратов, позволили сделать вывод о том, что наиболее прогрессивными с точки зрения экологической безопасности в настоящее время являются дымогенераторы с внешним теплообразованием. В этих аппаратах реализуются два технических решения, позволяющих добиться требуемого результата. В первом случае предусмотрена техническая возможность контроля и регулирования температуры внешнего теплоносителя (перегретого пара, газа), взаимодействующего непосредственно с топливом. Во втором случае – реализована схема управления теплообменом в слое топлива за счет

контроля плотности теплового потока, формируемого от внешнего источника каким-либо электрофизическим методом. Примером реализации такой схемы могут служить инфракрасные дымогенераторы, в которых слой топлива нагревается за счет поглощенного излучения, а также СВЧ-дымогенераторы, в которых нагрев древесины происходит под действием электромагнитных полей сверхвысоких частот (*Shokin et al., 2021; Шокина и др., 2011*). Дополнительным преимуществом дымогенераторов с внешним теплообразованием является возможность математического моделирования процесса пиролиза и создания на основе математической модели компьютерной программы для прогнозного расчета температуры топлива в любой момент пиролиза. Разработка такой модели позволит оперативно и в автоматическом режиме корректировать эксплуатационные параметры дымогенерации для снижения риска образования канцерогенных ПАУ вследствие превышения оптимальной температуры.

В ходе ранее проведенных исследований предложена система уравнений, описывающих дымогенерацию с терморadiационным энергоподводом в аппарате периодического действия, характеризуемого малой производительностью и предназначенного для обслуживания линии по выпуску не более 1 000 кг копченой продукции в сутки (*Шокина и др., 2011*). Позднее был разработан аппарат непрерывного действия – ИК-ДГ НД, к достоинствам которого, помимо управления температурой пиролиза в автоматическом режиме, относится производительность по дыму, позволяющая использовать аппарат в поточных высокопроизводительных линиях по выпуску копченой рыбной продукции (*ИК-дымогенератор..., 2018*).

Цель работы – создание математической модели непрерывного процесса ИК-дымогенерации для оптимизации его температурных режимов и повышения канцерогенной безопасности вырабатываемого копильного дыма.

Задачи исследования:

1. Уточнить теплофизические характеристики насыпного слоя древесного топлива для дымогенерации – древесных опилок с различной влажностью и насыпной массой от 154 до 158 кг/м<sup>3</sup> – с использованием разработанного ранее метода импульсного теплового контроля (Puls Normal NDT) (*ИК-дымогенератор..., 2018*).

2. Провести прогнозный расчет температуры пиролиза топлива в ИК-ДГ периодического действия с учетом уточненных ТФХ слоя топлива и сравнить результаты с данными, полученными ранее в реальном процессе.

3. Предложить усовершенствованное математическое описание непрерывного процесса дымогенерации в ИК-ДГ НД, учитывающее его особенности.

4. Определить направления дальнейших исследований.

## Материалы и методы

Объектами исследования при определении теплофизических характеристик (коэффициент теплопроводности, объемная теплоемкость, коэффициент температуропроводности) слоя топлива для дымогенерации являлись коммерческие образцы опилок лиственных пород древесины (ольхи, груши и яблони) с насыпной плотностью от 154 до 158 кг/м<sup>3</sup>, фасованные в потребительскую упаковку массой нетто 0,5 кг и предназначенные для копчения пищевых продуктов.

Объектом исследования при оценке изменения погрешности ранее разработанной математической модели периодического процесса дымогенерации с терморadiационным энергоподводом являлся опытно-промышленный образец (рис. 1) ИК-дымогенератора периодического действия повышенной производительности (усовершенствованная модель) ИК-ДГ 2(у), подробная характеристика которого приведена в (*Коробицын, 2008; Шокина и др., 2011*). В аппарате реализован принцип терморadiационного нагрева древесного топлива – слоя опилок лиственных пород древесины различной насыпной плотности толщиной 60 мм. Поддержание температуры пиролиза топлива на требуемом уровне осуществляется как за счет увлажнения опилок перед загрузкой в дымогенератор (мера предварительного увлажнения опилок оценивается их относительной влажностью, диапазон варьирования показателя – от 40 до 60 %), так и непосредственно в процессе дымообразования – за счет так называемой "избыточной влаги" (диапазон варьирования от 10 до 50 % от массы предварительно увлажненных опилок), поступающей к слою топлива через перфорированное фальш-дно, предусмотренное конструкцией аппарата в ваннах для пиролиза (носители топлива). Периодический процесс ИК-дымогенерации характеризуется наличием непроизводительного периода нагрева опилок до начала дымообразования (оценивается достижением температуры тонкого поверхностного дымообразующего слоя опилок температуры начала пиролиза древесины 280°) длительностью от 10 до 20 мин в зависимости от изменяемых параметров процесса, а именно: насыпной плотности и начальной влажности опилок, а также количества добавляемой к опилкам "избыточной влаги". Перезагрузка аппарата топливом осуществляется по мере его расходования периодически оператором вручную. Достоинствами ИК-ДГ 2(у) являются возможность

получения канцерогенно безопасного копильного дыма, простота обслуживания аппарата, его низкая стоимость, а также экономичность эксплуатации и технического обслуживания. Очевидным недостатком аппарата является его малая производительность по дыму и готовой продукции. Оптимальным вариантом использования аппарата являются технологические линии по изготовлению продукции холодного копчения и подкопченной с производительностью до 1 000 кг в сутки по готовой продукции.

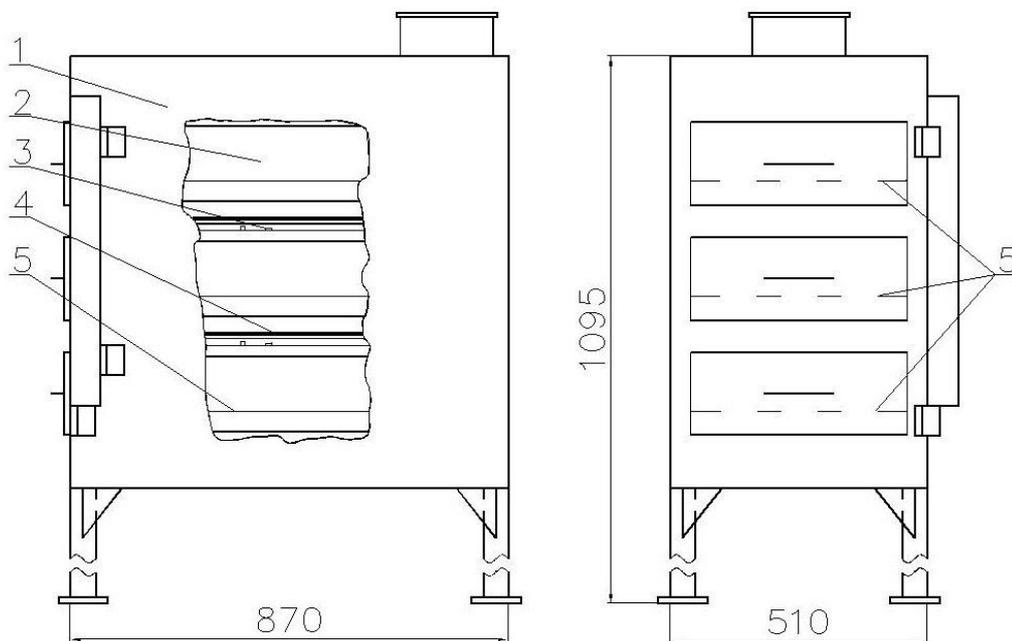


Рис. 1. Схема ИК-ДГ 2(у): 1 – корпус; 2 – ванна для пиролиза; 3 – генераторы инфракрасного излучения; 4 – рефлектор; 5 – фальш-дно (Шокина и др., 2011)

Fig. 1. Diagram of IR-SG 2(a): 1 – housing; 2 – pyrolysis bath; 3 – infrared radiation generators; 4 – reflector; 5 – false bottom

Объектом исследования при разработке математической модели непрерывного процесса дымогенерации с терморadiационным энергоподводом являлся опытно-промышленный образец ИК-ДГ НД, характеристика которого приведена ниже (рис. 2) (ИК-дымогенератор..., 2018). ИК-ДГ НД представляет собой корпус из нержавеющей стали, состоящий из двух половин – верхней (крышка) и нижней (основание), соединяемых при помощи болтов. В крышке поперек движения конвейера-питателя с постоянным шагом установлены генераторы ИК-излучения – четыре электрических нагревательных элемента U-образной формы из нержавеющей стали, мощностью 1 000 Вт каждый. Для более равномерного распределения теплового потока в рабочем объеме дымогенератора и повышения энергоэффективности аппарата в крышке смонтирован отражающий экран.

Для получения дыма в ИК-ДГ НД топливо загружают в бункер, откуда оно по лотку поступает на конвейер-питатель, которым с заданной скоростью движения подается в рабочую зону для генерации дыма. Сетчатое полотно обеспечивает в процессе дымогенерации свободный доступ воздуха к слою опилок, что способствует интенсификации пиролиза, свободному отводу образующихся дымовых газов, а также облегчает удаление золы, образующейся в результате пиролиза, из рабочей зоны путем свободного прохода через ячейки сетки при ее движении. Конструкцией аппарата предусмотрено автоматическое регулирование скорости движения конвейера-питателя. Для подачи воздуха в рабочую зону дымогенератора предусмотрена заслонка в крышке аппарата. Тягу для притока свежего воздуха обеспечивает вытяжной вентилятор, установленный на крышке, он же обеспечивает удаление из рабочей зоны дыма в копильную камеру или камеру смешения. Для удаления золы в устройстве предусмотрен выдвижной зольник.

Перед использованием топливо – древесные опилки – подготавливают: увлажняют, добавляя к ним воду, до влажности от 45 до 55 % на общую массу топлива. По достижении ТЭНами требуемой температуры излучающей поверхности начинается пиролиз опилок, который сопровождается дымообразованием. Благодаря оптимальной площади сечения лотка на сетке формируется слой топлива толщиной от 10 до 15 мм.

По мере прохождения рабочей зоны ИК-дымогенератора со скоростью от 0,01 до 0,05 м/с слой опилок подвергается термическому разложению (пиролизу), образующаяся зола свободно просыпается

через ячеи сетки в выдвижной зольник. В процессе работы ИК-ДГ НД оператор обеспечивает заполнение бункера опилками по мере их расходования и контролирует работу устройства на щите управления.



*а*



*б*



*в*

Рис. 2. ИК-ДГ НД: *а* – вид сбоку; *б* – вид сверху – крышка; *в* – вид сверху – основание  
Fig. 2. IR-SG H: *a* – side view; *б* – top view of the lid; *в* – top view of the base

Предметом исследования являлись математические модели тепломассообменных процессов в слое топлива различной толщины при дымогенерации с внешним теплообразованием (терморadiационным энергоподводом к слою топлива) в аппаратах периодического и непрерывного действия, формализующие зависимость температуры пиролиза топлива в любой его момент от основных влияющих технологических факторов.

В работе использованы современные физические и математические методы исследования.

Определение массовой доли воды в топливе, отбор проб, подготовку их к испытанию проводили стандартными методами (ГОСТ 16483.7, ГОСТ 17231<sup>1</sup>). Насыпную массу опилок определяли по разработанной

<sup>1</sup> ГОСТ 16483.7-71. Древесина. Методы определения влажности. М., 2008 ; ГОСТ 17231. Лесоматериалы круглые и колотые. Методы определения влажности. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/15014/?ysclid=llao3hykgo255364082>.

методике, как отношение массы единичных образцов средней пробы к их объему (Коробицын, 2008; Шокина и др., 2011).

Температуру пиролиза топлива определяли по методу Ершова – Шокиной, заключающегося в измерении температуры пиролиза специально изготовленных деревянных образцов, моделирующих пористый слой опилок (Шокина и др., 2011).

Измерение температуры по толщине слоя топлива при изучении процесса ИК-дымогенерации в аппарате периодического действия (ИК-ДГ 2(у)) проводили в трех точках (рис. 3), размещая равномерно по высоте измерительные зонды К/Т электронного термометра Testo 735-1 (рис. 4) – высокоточного, сверхбыстрого, внесенного в государственный Реестр средств измерений РФ. Характеристика зонда К/Т представлена в табл. 1. Отбор проб опилок для определения влажности осуществляли в тех же точках.

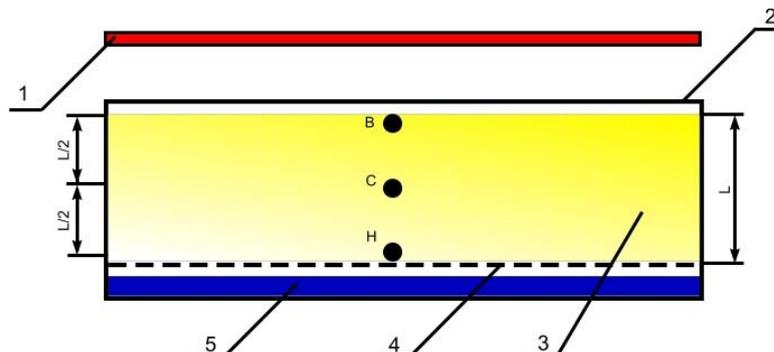


Рис. 3. Расположение точек измерения температуры в слое опилок: 1 – генератор ИК-излучения; 2 – ванна дымогенерации (носитель топлива); 3 – опилки; 4 – фальш-дно; 5 – избыточно добавленная влага; В – верхний слой; С – средний слой; Н – нижний слой (Коробицын, 2008; Шокина и др., 2011)

Fig. 3. Location of temperature measurement points in the sawdust layer: 1 – IR radiation generator; 2 – smoke generation bath (fuel carrier); 3 – sawdust; 4 – false bottom; 5 – excessively added moisture; В – upper layer; С – middle layer; Н – lower layer



Рис. 4. Электронный термометр Testo 735-1  
Fig. 4. Electronic thermometer Testo 735-1

При моделировании процесса дымогенерации в аппарате периодического действия экспериментально определяли коэффициенты теплопроводности опилок, а также коэффициенты теплопроводности влагопереноса (диффузии) и теплопроводности термовлагопереноса (термодиффузии) следующими методами.

Коэффициент теплопроводности топлива  $\lambda$ , Вт/(м·К) определяли следующим образом – опилки нагревали до температуры в верхнем слое  $200^\circ$ , затем выключали генераторы инфракрасного излучения

и измеряли температуру в слоях топлива в зависимости от длительности процесса охлаждения. Коэффициент теплопроводности определяли из уравнения теплопроводности

$$C \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где  $C \cdot \rho$  – объемная теплоемкость смеси "вода – опилки", Дж/(м<sup>3</sup>·К);  $T$  – температура опилок, К;  $\tau$  – время, с;  $x$  – координата, отсчитываемая от нижней границы опилок в сторону генератора ИК-излучения, м.

Коэффициент потенциалопроводности влагопереноса (коэффициент диффузии) влаги в слое топлива  $D_u$ , м<sup>2</sup>/с, определяли экспериментально на основе уравнения диффузии

$$\frac{\partial U}{\partial \tau} = D_u \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где  $U$  – относительная влажность опилок, доли единицы.

Для этого определяли влажности слоев топлива на уровнях В, С, Н (рис. 3) при свободном поднятии влаги по слою опилок: опилки без предварительного увлажнения (относительной влажностью от 3 до 5 %) массой 1,5 кг засыпали в емкость, в которую предварительно наливали 1 дм<sup>3</sup> воды (температура воды 20 ± 1°), смесь опилок и воды не перемешивали, после чего определяли относительную влажность верхнего, среднего и нижнего слоев топлива каждый час в течение трех часов подряд.

Коэффициент диффузии рассчитывали решением обратной задачи по уравнению 2.

Коэффициент потенциалопроводности термовлагопереноса (термодиффузии)  $D_t$ , м<sup>2</sup>/(с·К), определяли с учетом конденсации "избыточной влаги" под фальш-дном, поступающей в слой топлива в процессе дымообразования, расчетным путем из формулы

$$D_t = \frac{\frac{\partial U}{\partial \tau} - D_u \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - \Delta u}{\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}}, \quad (3)$$

где  $\Delta u$  – доли единицы/с.

Расчет коэффициентов дифференциальных уравнений осуществляли в программном пакете MathCAD.

При моделировании процесса дымогенерации в аппарате непрерывного действия экспериментально определяли ТФХ тонкого слоя опилок (толщина слоя опилок 15 ± 1 мм), а именно: коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·К), объемную теплоемкость ( $C \cdot \rho$ ), Дж/(м<sup>3</sup>·К), коэффициент температуропроводности,  $a$ , м<sup>2</sup>/с, разработанным способом (Снособ..., 2017), в основе которого метод импульсного теплового контроля.

Способ реализуется на специальном лабораторном стенде (рис. 5), в состав которого входит лабораторный стол, специальный контейнер из диэлектрика, позволяющий формировать за счет подвижных стенок слою опилок различной толщины, и средства измерения – тепловизор (рис. 6) и пирометр (рис. 7). Характеристика использованных в работе средств измерения представлена в табл. 1.

Таблица 1. Характеристика средств измерения  
Table 1. Characteristics of measuring instruments

Характеристика	Название прибора			
	Пирометр Мегеон	Электронный термометр Testo 735-1	Зонд К/Т (первичный преобразователь к электронному термометру)	Тепловизор Testo 875-1i
Диапазон контролируемых температур, °С	от минус 50 до 550	от минус 20 до 800	от минус 200 до 1 370	от минус 20 до 280
Предел температурной чувствительности, °С	0,1	0,05	0,1	0,1
Погрешность измерения	±3 °С	±0,2 °С, или ±0,3 %	±0,3 °С	±2 °С, но не менее ±2 %
Разрешение чувствительной матрицы, пикселей	–		320×240	

Температуру и относительную влажность воздуха в помещении, в котором производят измерения, контролируют общепринятыми средствами контроля – психрометром и термометром жидкостным (ГОСТ 28498<sup>2</sup>).

<sup>2</sup> ГОСТ 28498. Термометры жидкостные стеклянные. Общие технические требования. Методы испытаний. М., 2007.

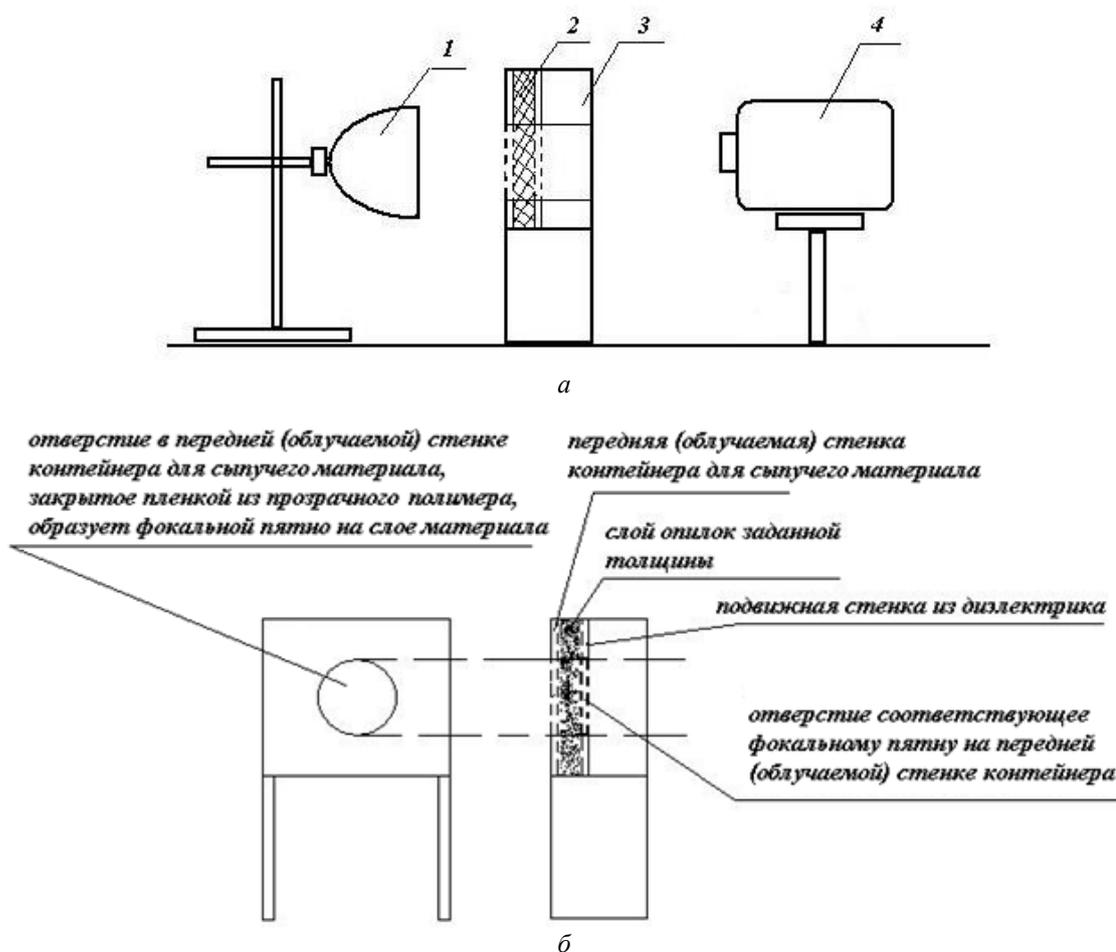


Рис. 5. Лабораторный стенд, использованный для определения ТФХ тонкого слоя опилок:  
 а – схема лабораторного стенда: 1 – источник ИК-энергии (ИК-лампа мощностью 1 кВт);  
 2 – слой опилок, регулируемый по толщине; 3 – контейнер из диэлектрика для формирования слоя  
 сыпучего материала заданной толщины; 4 – тепловизор; б – схема контейнера  
 для сыпучих материалов (поз. 3) (Снособ..., 2017)

Fig. 5. The laboratory stand used to determine the TPH of a thin layer of sawdust:  
 a – the scheme of the  
 laboratory stand: 1 – an IR energy source (an IR lamp with a power of 1 kW); 2 – a layer of sawdust,  
 adjustable in thickness; 3 – a container made of dielectric to form a layer of bulk material of a given thickness;  
 4 – thermal imager; б – diagram of the container for bulk materials (item 3)



Рис. 6. Тепловизор Testo 875-1i  
 Fig. 6. Thermal imager Testo 875-1i



Рис. 7. Пирометр Мегеон  
 Fig. 7. Pyrometer Megeon

Для определения ТФХ опилки известной насыпной плотности подготавливают – увлажняют водой и выдерживают 24 ч в термостате для выравнивания температурного поля. При помощи контейнера формируют слой подготовленных опилок малой толщины (15 мм) и подвергают краткому (15 с) воздействию мощного теплового импульса от ИК-лампы. Затем фиксируют при помощи пирометра и тепловизора прохождение тепловой волны через слой опилок, для чего измеряют периодически температуру облученной поверхности слоя при помощи пирометра, а температуру необлученной поверхности слоя – при помощи тепловизора. Обработку снимков тепловизора осуществляют в специальном программном обеспечении, позволяющем быстро обрабатывать большой массив данных и получать для каждого снимка визуализацию распределения температуры по поверхности слоя в виде гистограммы, по оси ординат которой показана вероятность обнаружения температуры в заданном диапазоне (%), а по оси абсцисс – температура в области анализируемой поверхности (°). Кроме того программа позволяет определить для каждого снимка минимальное, максимальное и среднее значения исследованной поверхности. В дальнейших расчетах используется среднее значение по каждому полученному с помощью тепловизора изображению.

По результатам тепловизионной съемки необлученной поверхности слоя опилок получают графическую зависимость

$$\Delta T_{\text{Ho}} = f(\tau), \quad (4)$$

где  $\Delta T_{\text{Ho}}$ , °С – избыточная температура необлученной поверхности слоя опилок;  $\tau$ , с – время.

Максимальную избыточную температуру необлученной поверхности слоя опилок находят из соотношения

$$\Delta T_{\text{Ho}} = T_{\text{Ho max}}(\tau) - T_{\text{Ho0}}, \quad (5)$$

где  $T_{\text{Ho max}}(\tau)$ , °С – максимальная температура необлученной поверхности слоя опилок в момент времени  $\tau$ ;  $T_{\text{Ho0}}$ , °С – начальная температура необлученной поверхности слоя опилок.

По показаниям пирометра строят графическую зависимость вида

$$T_{\text{Об}} = f(\tau), \quad (6)$$

где  $T_{\text{Об}}$ , °С – температура облученной поверхности слоя опилок;  $\tau$ , с – время.

С помощью графика зависимости, отражаемой формулой (4), находят  $\tau_{1/2}$ , с, или время, за которое температура на необлученной поверхности слоя опилок достигнет половины своего максимального значения после облучения.

Коэффициент температуропроводности  $a$ , м<sup>2</sup>/с, рассчитывают по формуле

$$a = 1,38 \cdot \frac{L^2}{\pi^2 \cdot \tau_{1/2}}, \quad (7)$$

где  $L$ , м – толщина слоя.

Коэффициент теплопроводности  $\lambda$ , Вт/(м·К) и объемную теплоемкость ( $C \cdot \rho$ ), Дж/(м<sup>3</sup>·К), рассчитывают по формуле, полученной на основании решения задачи о лучистом теплообмене плоской пластины с окружающей средой при граничных условиях 2-го рода

$$C \cdot \rho = \frac{Q_{\text{max}}}{L \cdot \Delta T_{\text{Ho max}}}, \quad (8)$$

где  $Q_{\text{max}}$ , Дж/м<sup>2</sup> – величина лучистой энергии, поглощенной слоем через отверстие в облученной стенке контейнера.

Величину  $Q_{\text{max}}$  определяют расчетным путем, измерив экспериментально с помощью стандартного датчика теплового потока плотность теплового потока лучистой энергии  $N_{\text{max}}$ , Вт/м<sup>2</sup>, падающего на облученную поверхность слоя опилок от ИК-лампы, работающей в стационарном режиме. Расчет ведут по формуле

$$Q_{\text{max}} = N_{\text{max}} \cdot \tau_{\text{импульс}}, \quad (9)$$

где  $\tau_{\text{импульс}}$ , с – продолжительность теплового импульса.

Коэффициент теплопроводности рассчитывают по формуле

$$\lambda = a \cdot C \cdot \rho. \quad (10)$$

## Результаты и обсуждение

Энергия ИК-излучения в дымогенераторе при дымообразовании расходуется на следующие процессы – нагрев корпуса и конструктивных элементов дымогенератора, нагрев слоя влажного топлива и испарения влаги из него, а также на испарение влаги, добавляемой под фальш-дно ванны (носителя топлива). Следует учитывать, что часть тепловой энергии уносится с дымом из аппарата в копильную камеру, а при достижении топливом температуры 280° в слое опилок образуется внутренний источник энергии в результате начинающейся экзотермической реакции разложения компонентов древесины – целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Ранее на основании известных дифференциальных уравнений тепломассопереноса и полученных

экспериментальных данных была предложена математическая модель процесса дымообразования в ИК-ДГ 2(у) периодического действия (*Shokin et al., 2020; Шокина и др., 2011*), представленная ниже.

$$\begin{cases} C \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + r \cdot \alpha \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau} + w(x) + q(x) \\ \frac{\partial U}{\partial \tau} = D_u \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + D_t \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \end{cases}, \quad (11)$$

где  $C \cdot \rho = c_v \cdot \frac{U \cdot \rho_{\text{оп}}}{1-U} + c_{\text{оп}} \cdot \rho_{\text{оп}}$  – объемная теплоемкость смеси "вода – опилки", Дж/(м<sup>3</sup>·К) (здесь  $C_{\text{оп}}$  и  $C_v$  – удельные теплоемкости сухих опилок и воды соответственно, Дж/(кг·К), и  $\rho$  – плотность опилок, кг/м<sup>3</sup>, теплоемкостью пара пренебрегаем;  $U$  – влажность опилок, доли единицы;  $T$  – температура опилок, К;  $\tau$  – время, с;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности слоя древесных опилок задан удельной поверхностью опилок и их влагосодержанием, Вт/(м·К);  $r$  – скрытая теплота парообразования, Дж/кг;  $\alpha$  – коэффициент, определяющий долю участия процессов конденсации и парообразования в объеме слоя, доли единицы;  $U$  – влагосодержание опилок, кг/м<sup>3</sup>, в уравнении теплопереноса и доли единицы в уравнении массопереноса соответственно;  $w(x)$  – объемное поглощение тепла в слое опилок с координатой  $x$ , м, которая отсчитывается от нижней границы опилок в сторону ИК-излучателя, Вт/м<sup>3</sup>;  $D_u$  – коэффициент потенциалопроводности влагопереноса, характеризует перенос влаги в слое топлива за счет капиллярных явлений и адсорбции влаги на поверхности опилок, м<sup>2</sup>/с;  $D_t$  – коэффициент потенциалопроводности термовлагопереноса в слое опилок, м<sup>2</sup>/(с·К);  $q_x$  – теплота термического разложения древесины в объеме слоя, Вт/м<sup>3</sup>.

Для решения системы (11) были сформулированы следующие начальные условия (*Коробицын, 2008; Шокина и др., 2011*):

– перед дымообразованием топливо во всем объеме слоя имеет постоянную температуру 15° (соответствует температуре коптильного цеха);

– перед началом дымообразования относительная влажность топлива на нижней и верхней границах слоя составляет 0,7 и 0,1 соответственно, дальнейшее изменение показателя на верхней границе слоя топлива при  $x = L$  подчиняется уравнению

$$-\frac{\partial U}{\partial x} = P, \quad (12)$$

где  $P$  – постоянная, оцениваемая эмпирически.

При решении системы (11) сформулированы граничные условия 3-го рода, наиболее часто используемые для задания условий массо- и теплообмена на поверхности тел, а именно: количество теплоты или массы, подводимой изнутри тела к его поверхности по механизму теплопроводности, равно количеству отводимой от поверхности топлива в окружающую среду теплоты или массы. С учетом оттока тепла от верхнего (облучаемого) дымообразующего слоя топлива  $x = L$ , м, граничное условие третьего рода задано в виде

$$-\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = C_{\text{пара}} \cdot t \cdot m_t + \sigma \cdot T^4, \quad (13)$$

где  $m_t$  – массовый расход пара, кг/(м<sup>2</sup>·с);  $C_{\text{пара}}$  – теплоемкость пара, Дж/(кг·К);  $T$  – температура пара, °;  $\sigma$  – постоянная Стефана – Больцмана.

В уравнении (13) первое слагаемое выражает отток тепла путем конвекции, а второе – отток тепла излучением элемента поверхности абсолютно черного тела с его абсолютной температурой. При использовании граничного условия для решения системы (11) необходимо учесть, что пиролизу древесного топлива (опилок) предшествует период его нагрева, в течение которого влажные опилки рассматриваются как серое тело, преимущественно поглощающее излучение от генераторов ИК-излучения и практически не излучающее энергию. При достижении в тонком поверхностном дымообразующем слое топлива (экспериментально установленная глубина поглощения ИК-излучения слоем древесных опилок с насыпной массой от 104 до 154 кг/м<sup>3</sup> составляет от 5 до 15 мм) температуры 280° начинается процесс пиролиза, этот слой обугливается, после чего излучает энергию в соответствии с законом Стефана – Больцмана.

В систему (11) входят эмпирически устанавливаемые величины:  $w(x)$  – объемное поглощение тепла в слое опилок с координатой  $x$ , м, и коэффициент  $\alpha$  – определяет долю участия процессов конденсации и парообразования в объеме слоя, доли единицы.

Параметр  $w(x)$  рассматривали как функцию распределения тепловыделения по слою опилок в виде

$$w(x) = w_0 \cdot e^{-\left(\frac{d-x}{h}\right)^2}, \quad (14)$$

где  $w_0$  – максимальное значение удельной поглощаемой мощности, Вт;  $d$  – толщина слоя, м,  $x$  – координата слоя, м,  $h$  – глубина проникновения теплового излучения в слой опилок, м.

Величину  $w_0$  рассчитывают по формуле

$$w_0 = \zeta \cdot \frac{2 \cdot P}{\sqrt{\pi} \cdot S \cdot h}, \quad (15)$$

где  $P$  – мощность генераторов инфракрасного излучения, установленных над слоем топлива, Вт;  $S$  – площадь слоя топлива,  $m^2$ ;  $h$  – глубина проникновения инфракрасного излучения в слой топлива, м;  $\zeta$  – поправочный коэффициент, учитывающий потери энергии на пути от генераторов ИК-излучения к слою топлива, доли единицы, принимается в зависимости от величины насыпной плотности опилок решением обратной задачи, а также с учетом установленного экспериментально совокупного угла освещенности опилок генераторами ИК-излучения в ИК-ДГ 2( $y$ ), доли единицы.

Коэффициент  $\alpha$  принимали с учетом обеспечения максимального приближения данных прогнозного расчета температурных полей в слое топлива реальному процессу пиролиза при решении системы (11).

При составлении алгоритма решения системы дифференциальных уравнений записывали каждое из уравнений, входящее в систему, а также начальные и граничные условия в конечно-разностной форме. При решении уравнения теплопроводности использовали неявную схему, при решении уравнения диффузии – явную схему. Слой топлива рассматривали как пластину. Толщина элементарного слоя, в котором протекает пиролиз топлива в ИК-ДГ периодического действия, постоянна и составляет в среднем от 1 до 3 мм в зависимости от насыпной плотности опилок. Экспериментально установленная длительность разогрева слоя опилок до начала собственно пиролиза в ИК-ДГ периодического действия составила от 13 до 15 мин, в программе учтено максимальное значение – 15 мин. Тонкий поверхностный дымообразующий слой опилок достигает температуры пиролиза, в дальнейшем эта температура сохраняется постоянной, практически не изменяется и зависит от насыпной плотности и влажности опилок (Шокина и др., 2011).

С учетом этого был разработан алгоритм решения системы уравнений для продолжительности периодического процесса 15 мин с момента начала терморadiационного нагрева топлива. Переходя к безразмерным величинам при составлении алгоритма решения системы, всю толщину слоя топлива принимали за 100 условных единиц. Реальная толщина слоя колеблется в зависимости от насыпной плотности используемых опилок от 1 до 2 см. Одна условная единица толщины слоя на графических зависимостях для опилок различной насыпной плотности составляет 1/100-ю величину от указанного диапазона в метрах. Разработанная компьютерная программа позволяет получать значения температуры и влажности для любой точки слоя топлива в любой момент времени в течение 15 мин с начала терморadiационного нагрева (Коробицин, 2008).

В уравнение (11) входят ТФХ слоя топлива малой толщины, ранее определяемые расчетным путем. С разработкой метода определения ТФХ сыпучих технологических сред на основе импульсного теплового контроля (Puls Normal NDT) (Снособ..., 2017) появилась возможность экспериментальным методом определить коэффициент теплопроводности слоя топлива  $\lambda$ , Вт/(м·К) и его объемную теплоемкость ( $C \cdot \rho$ ), Дж/(м·К). Результаты эксперимента по определению ТФХ слоя опилок насыпной плотностью  $154 \text{ кг/м}^3$  с влажностью от 10 до 60 % на общую массу приведены ниже.

На рис. 8–10 приведена графическая зависимость избыточной температуры необлученной поверхности слоя опилок с различной массовой долей влаги от времени, во всех опытах начальная температура необлученной поверхности составляла  $(19,9 \pm 0,1)^\circ\text{C}$ . На рис. 11 приведена графическая зависимость избыточной температуры облученной поверхности слоя опилок с массовой долей влаги 50 % от времени. В качестве примера гистограмма избыточной температуры после обработки снимка с использованием специального программного обеспечения тепловизора Testo приведена на рис. 12.

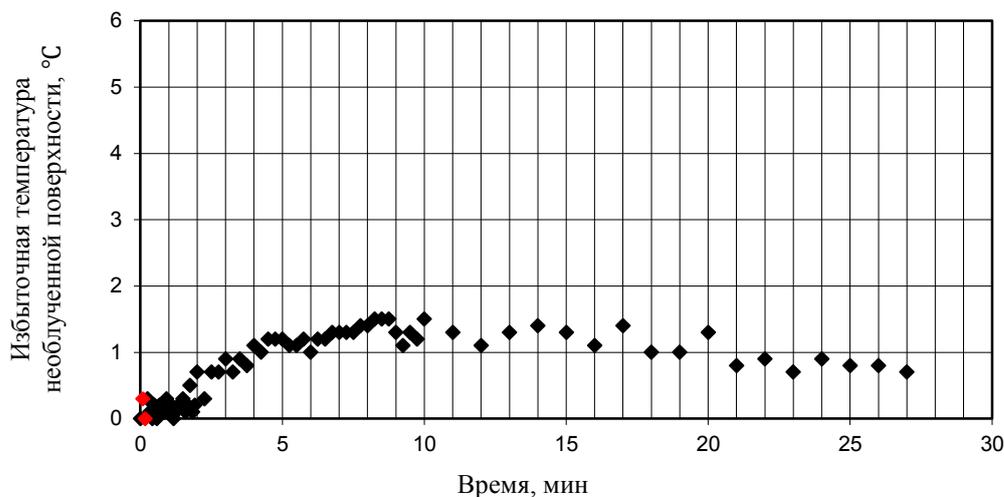


Рис. 8. Зависимость избыточной температуры необлученной поверхности слоя опилок с массовой долей влаги 10 % от времени, полученная по термограммам тепловизора  
 Fig. 8. The dependence of the excess temperature of the non-irradiated surface of the sawdust layer with a mass fraction of moisture of 10 % on time obtained from the thermogram of the thermal imager

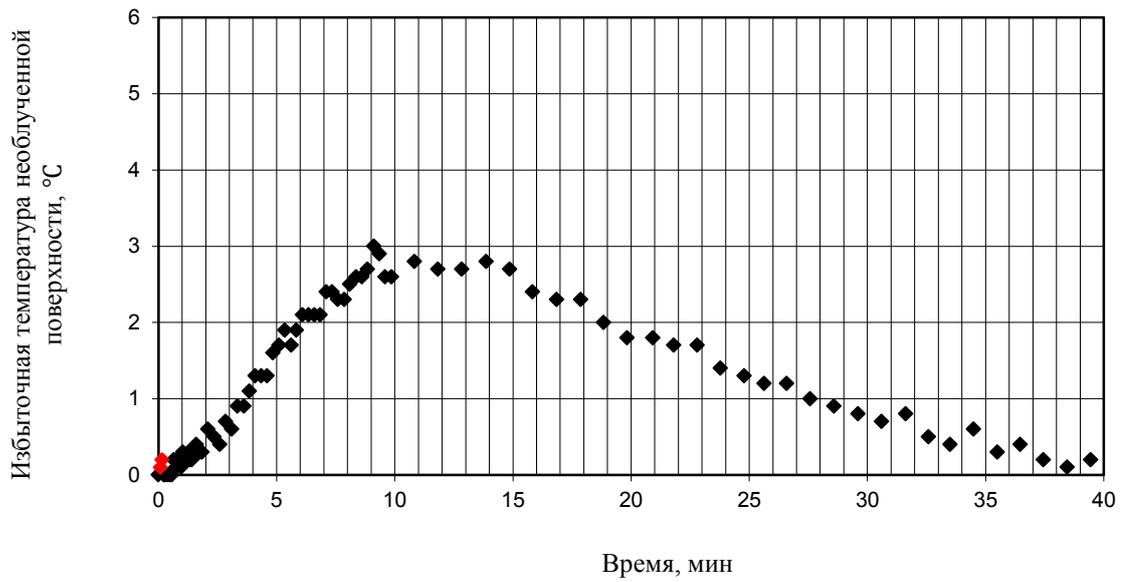


Рис. 9. Зависимость избыточной температуры необлученной поверхности слоя опилок с массовой долей влаги 30 % от времени, полученная по термограммам тепловизора  
Fig. 9. The dependence of the excess temperature of the non-irradiated surface of the sawdust layer with a mass fraction of moisture of 30 % on time obtained from the thermogram of the thermal imager

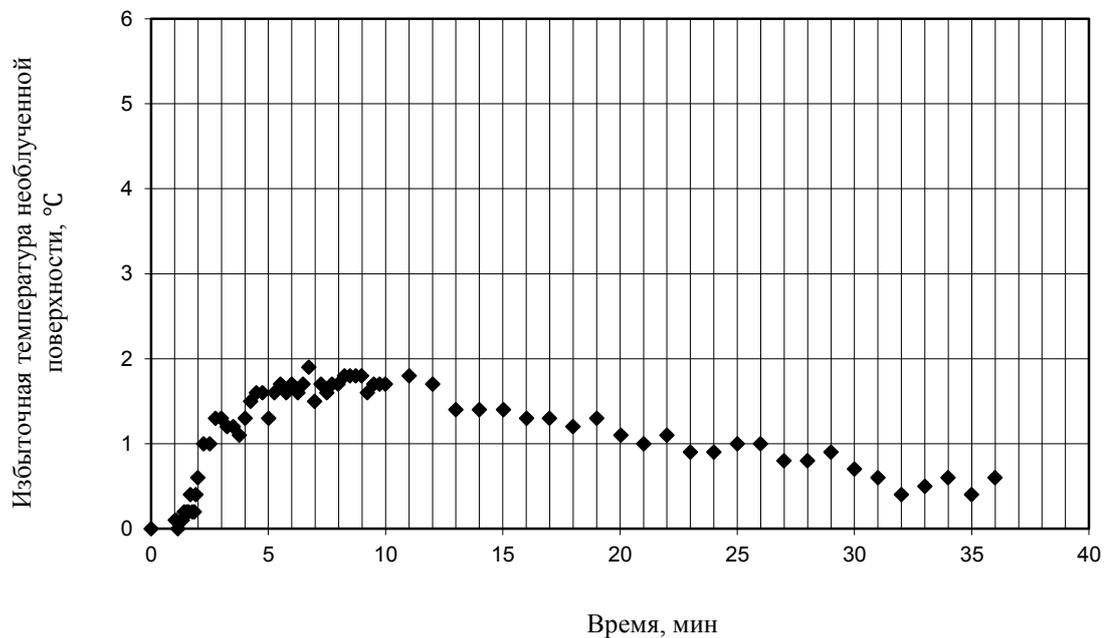


Рис. 10. Зависимость избыточной температуры необлученной поверхности слоя опилок с массовой долей влаги 50 % от времени, полученная по термограммам тепловизора  
Fig. 10. The dependence of the excess temperature of the non-irradiated surface of the sawdust layer with a mass fraction of moisture 50 % on time obtained from the thermogram of the thermal imager

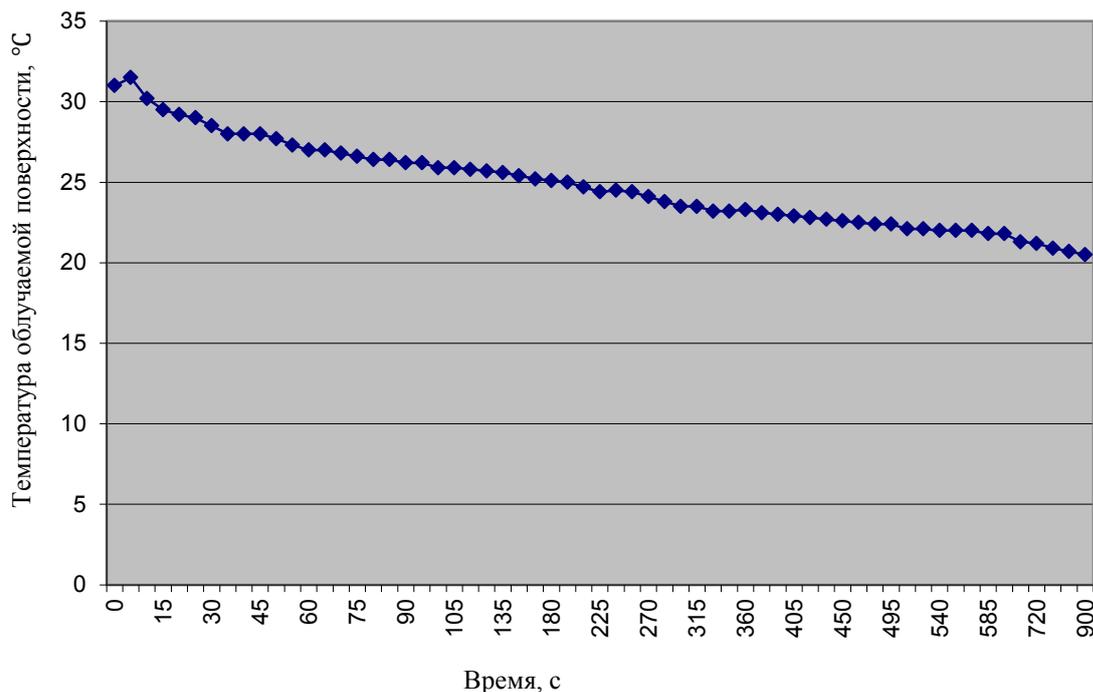


Рис. 11. Зависимость избыточной температуры облученной поверхности слоя опилок с массовой долей влаги 50 % от времени, полученная по показаниям пирометра сразу после теплового импульса  
Fig. 11. The dependence of the excess temperature of the irradiated surface of the sawdust layer with a mass fraction of moisture 50 % on time obtained according to the pyrometer readings immediately after the thermal pulse

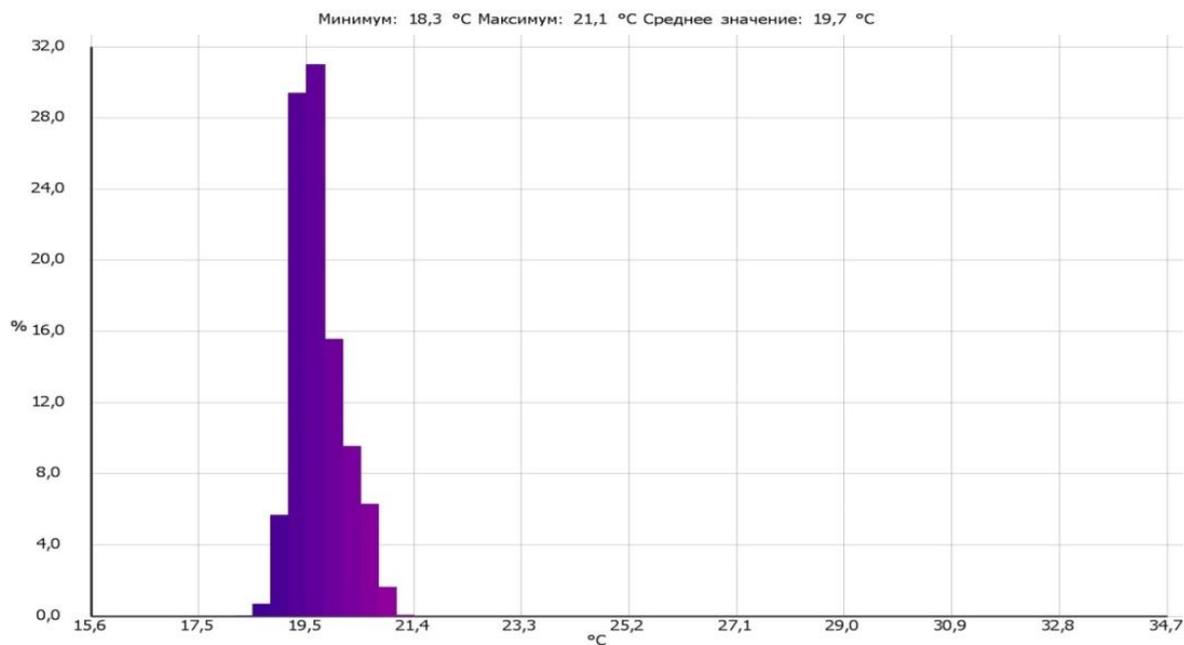


Рис. 12. Пример гистограммы после обработки снимка с использованием специального программного обеспечения тепловизора Testo: по оси ординат вероятность обнаружения температуры в заданном диапазоне, %; по оси абсцисс – температура в области анализируемой поверхности  
Fig. 12. Example of a histogram after image processing using a special thermal imager software Testo: on the ordinate axis the probability of detecting temperature in the given range, %; on the abscissa axis – the temperature in the area of the analyzed surface

Результаты определения ТФХ слоя опилок экспериментальным методом в сравнении с ранее полученными расчетом литературными данными представлены в табл. 2.

Таблица 2. ТФХ слоя опилок, установленные экспериментальным методом в сравнении с литературными данными

Table 2. Thermophysical characteristics of the sawdust layer established by the experimental method in comparison with the literature data

Метод определения	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	Объемная теплоемкость, Дж/(м <sup>3</sup> ·К)	Коэффициент потенциалопроводности теплопереноса, м <sup>2</sup> /с
Лабораторный стенд	$5,76 \cdot 10^{-4}$	2 305,03	$2,50 \cdot 10^{-7}$
Литературные данные (Коробицын, 2008)	$4,6 \cdot 10^{-2}$	–	$1,099 \cdot 10^{-9}$

Примечание. Измеренный тепловой поток в фокальном пятне  $800 \text{ Вт/м}^2$  с учетом длительности теплового импульса 15 с  $Q_{\text{max}}$  составит  $12\,000 \text{ Дж/м}^2$ ; насыпная плотность опилок от 108 до  $158 \text{ кг/м}^3$ , массовая доля влаги в опилках 50 %, литературные и экспериментальные данные сопоставимы для сравнения.

При сравнении экспериментальных данных с литературными становится очевидным уточнение отдельных ТФХ более, чем на два порядка. Столь существенная разница значений ТФХ может стать причиной погрешности прогнозных расчетов теплопереноса с использованием математической модели, а в случае с расчетом температуры пиролиза может затруднить оценку энергоэффективности аппарата и оптимизацию эксплуатационных режимов на основе моделирования.

С использованием компьютерной программы (Коробицын, 2008) и полученных разработанным экспериментальным методом значений ТФХ слоя опилок рассчитаны значения температуры для любой точки слоя топлива в любой момент времени в течение 15 мин с начала терморadiационного нагрева. Ниже в табл. 3, 4 и на рис. 13 приведены результаты моделирования пиролиза для слоя опилок ольхи с насыпной плотностью  $154 \text{ кг/м}^3$  и начальной влажностью 50 %, количество избыточно добавленной влаги 40 мас. %.

Таблица 3. Результаты моделирования полей температуры и влажности в слое топлива в процессе пиролиза, длительность дымообразования 15 мин

Table 3. Simulation results of temperature and humidity fields in the fuel layer during pyrolysis, smoke generation duration 15 min

Координата слоя $i$ , усл. ед.	Влажность слоя $i$ в момент времени 15 мин, доли единицы	Температура слоя $i$ , °	Координата слоя $i$ , усл. ед.	Влажность слоя $i$ в момент времени 15 мин, доли единицы	Температура слоя $i$ , °
1	0,700	15,0	32	0,474	35,6
2	0,681	15,5	33	0,480	37,2
3	0,665	16,0	34	0,486	39,0
4	0,647	16,5	35	0,492	40,9
5	0,629	17,0	36	0,499	42,9
6	0,611	17,5	37	0,506	45,1
7	0,595	18,0	38	0,512	47,5
8	0,580	18,4	39	0,519	50,1
9	0,565	18,9	40	0,528	52,8
10	0,549	19,4	41	0,533	55,9
11	0,537	19,8	42	0,540	59,1
12	0,525	18,9	43	0,546	62,6
13	0,513	20,7	44	0,550	66,3
14	0,502	21,2	45	0,557	70,1
15	0,494	21,6	46	0,558	74,5
16	0,484	22,1	47	0,563	78,8
17	0,478	22,5	48	0,562	83,8
18	0,471	23,0	49	0,562	88,9
19	0,465	23,6	50	0,560	94,3
20	0,460	24,1	51	0,554	100,1
21	0,457	24,7	52	0,548	106,2
22	0,455	25,3	53	0,541	112,5

23	0,453	26,0	54	0,527	119,5
24	0,452	26,8	55	0,519	126,2
25	0,452	27,6	56	0,500	133,8
26	0,452	28,5	57	0,482	141,5
27	0,454	29,5	58	0,459	149,7
28	0,458	30,4	59	0,436	157,9
29	0,461	31,5	60	0,408	166,6
30	0,465	32,8	61	0,377	175,6
31	0,469	34,2	62	0,346	184,7
...					
63	0,313	194,0	82	0,000	312,7
64	0,269	204,0	83	0,000	310,7
65	0,228	213,8	84	0,000	307,4
66	0,187	223,7	85	0,000	302,6
67	0,139	234,0	86	0,000	296,2
68	0,095	244,0	87	0,000	288,1
69	0,044	254,4	88	0,000	278,1
70	0,000	264,3	89	0,000	266,2
71	0,000	271,4	90	0,000	252,3
72	0,000	278,2	91	0,000	236,3
73	0,000	284,7	92	0,000	218,0
74	0,000	290,7	93	0,000	197,3
75	0,000	296,2	94	0,000	174,1
76	0,000	301,0	95	0,000	148,4
77	0,000	305,2	96	0,000	119,9
78	0,000	308,7	97	0,000	88,6
79	0,000	311,2	98	0,000	54,4
80	0,000	312,8	99	0,037	17,1
81	0,000	313,3	100	0,037	завершение пиролиза

Таблица 4. Результаты моделирования полей температуры и влажности в слое топлива в процессе пиролиза в зависимости от длительности процесса  
Table 4. Simulation results of temperature and humidity fields in the fuel layer during pyrolysis depending on the duration of the process

Продолжительность процесса $j$ , мин	Влажность среднего слоя в момент времени $j$ , доли единицы	Температура нижнего слоя в момент времени $j$ , °	Температура среднего слоя в момент времени $j$ , °	Температура верхнего (дымогенерирующего) слоя в момент времени $j$ , °
1	0,108	15,2	19,6	44,2
2	0,116	15,2	24,5	66,8
3	0,130	15,3	29,6	85,5
4	0,148	15,3	34,8	102,9
5	0,171	15,3	40,0	119,7
6	0,197	15,3	45,4	135,7
7	0,227	15,4	50,8	151,0
8	0,260	15,4	56,3	165,0
9	0,296	15,4	61,8	179,6
10	0,335	15,4	67,3	193,0
11	0,376	15,5	72,8	205,9
12	0,419	15,5	78,3	218,2
13	0,464	15,5	83,7	230,0
14	0,511	15,5	89,0	241,3
15	0,560	15,5	94,3	252,3

Графически результаты моделирования с учетом новых уточненных ТФХ слоя опилок в сравнении с ранее полученными результатами (Коробицын, 2008; Шокина и др., 2011), в которых ТФХ слоя были определены расчетным путем решением обратной задачи уравнения теплопроводности, представлены

на рис. 13. Аналогичные данные были получены для опилок и щепы древесины лиственных пород (груша, яблоня, ольха) различной насыпной плотности и влажности в диапазоне от 10 до 60 % с шагом в 10 %.

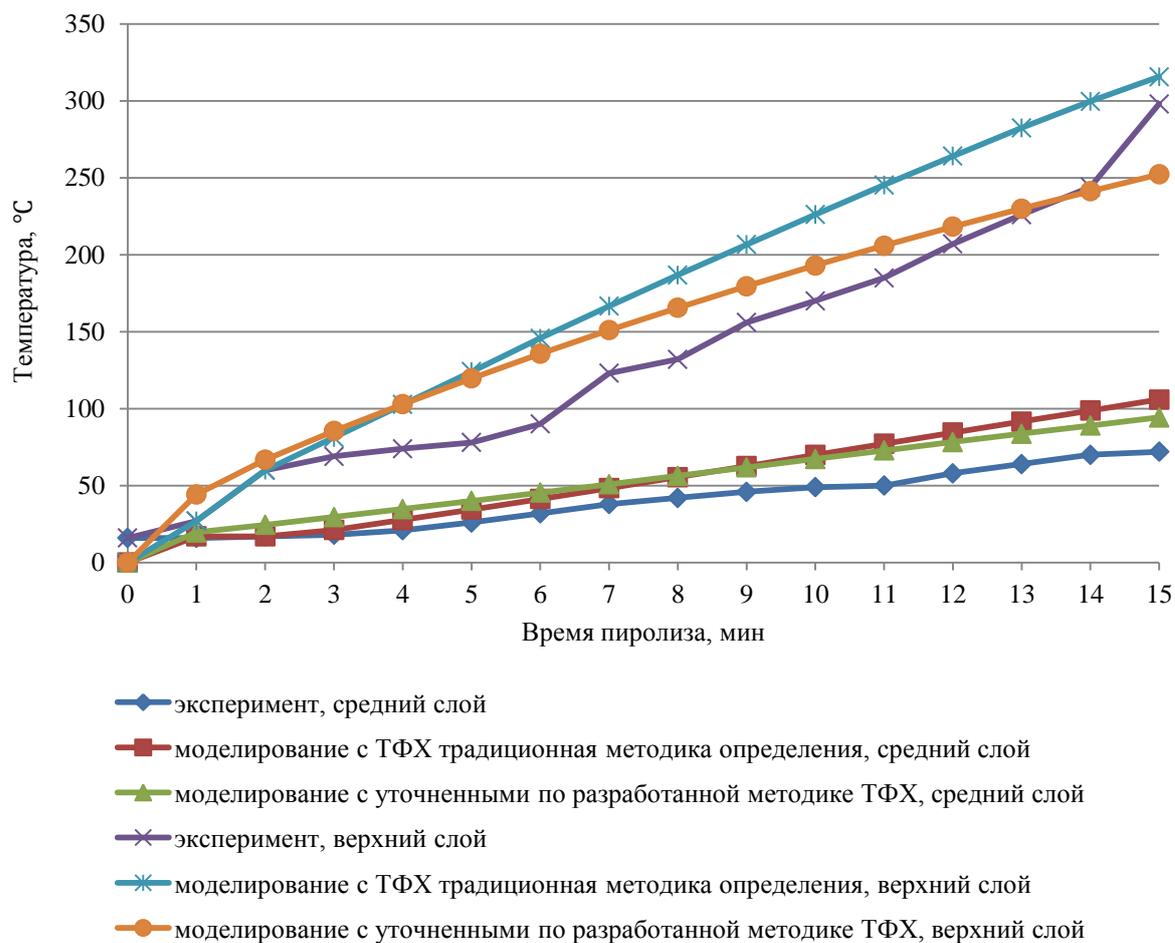


Рис. 13. Сравнение результатов моделирования полей температуры в слое топлива с результатами эксперимента: насыпная масса опилок  $154 \text{ kg/m}^3$ , влажность топлива 50 %, количество добавленной воды 40 %

Fig. 13. Comparison of the results of modeling temperature fields in the fuel layer in comparison with the results of the experiment: the bulk mass of sawdust –  $154 \text{ kg/m}^3$ , the fuel humidity – 50 %, the amount of added water – 40 %

Из рис. 13 следует, что уточнение ТФХ слоя опилок, в частности, уточнение коэффициента теплопроводности слоя в меньшую сторону на два порядка (табл. 1), в наибольшей степени влияет на прогнозную оценку температуры тонкого дымообразующего поверхностного слоя опилок в аппарате периодического действия. Температурная кривая для этого слоя топлива, полученная моделированием пиролиза с уточненными ТФХ, ближе к реальному процессу по сравнению с результатами моделирования на основе расчетных данных.

Таким образом, экспериментальным и аналитическим методами доказано, что результаты прогнозного расчета температуры пиролиза с использованием разработанной ранее модели и уточненных ТФХ слоя топлива ближе к экспериментальным значениям по сравнению с ранее полученными данными, что важно для определения оптимальных параметров (влажность, количество добавленной воды, насыпная плотность топлива – древесных опилок) дымогенерации в аппарате периодического действия с целью минимизации риска образования ПАУ. В то же время разница между температурными кривыми, полученными моделированием для среднего слоя опилок, практически отсутствует.

На основе математической модели, полученной ранее для ИК-ДГ периодического действия (*Shokin et al., 2020; Шокина и др., 2009*), была составлена новая система дифференциальных уравнений – теплового и влажностного баланса, описывающих процесс дымообразования в аппарате непрерывного действия.

При составлении нового уравнения был учтен ряд особенностей непрерывного процесса дымообразования в ИК-ДГ НД, а именно:

– процесс протекает в отсутствие так называемой "добавленной влаги";

– вся влага процесса вводится в рабочий контур аппарата для поддержания температуры пиролиза ниже "канцерогенных пиков" в составе подготовленных опилок и оценивается их начальной влажностью;  
– в связи с отсутствием "добавленной влаги" явление термодиффузии влаги может быть проигнорировано в уравнении влажностного баланса системы уравнений, описывающих процесс.

Составленная система уравнений для описания непрерывного процесса дымообразования приведена ниже:

$$\begin{cases} C \cdot \rho \cdot \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \cdot \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + r \cdot \alpha \cdot \frac{\partial U}{\partial \tau} + w(x) + q(x) \\ \frac{\partial U}{\partial \tau} = D_u \cdot \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} \end{cases} \quad (16)$$

Дальнейшие исследования будут посвящены накоплению достаточного объема экспериментальных данных, необходимых для формулирования начальных и граничных условий процесса, определения значений всех коэффициентов, входящих в систему (16), с учетом отличий процесса пиролиза топлива в ИК-дымогенераторе непрерывного действия от процесса в аппарате периодического действия.

### Заключение

Уточненные ТФХ слоя топлива малой толщины определены экспериментально для древесной щепы и опилок ольхи, яблони и груши с разной насыпной плотностью и с относительной влажностью от 10 до 60 % с шагом 10 % с использованием разработанного ранее метода с элементами импульсного теплового контроля (Способ..., 2017).

Выполнен прогнозный расчет температуры пиролиза топлива в ИК-ДГ периодического действия для поверхностного дымообразующего слоя, а также температуры среднего и нижнего слоя топлива в носителе в процессе дымообразования. Установлено, что результаты прогнозного расчета температуры пиролиза опилок в дымообразующем слое с учетом уточненных ТФХ слоя топлива ближе к экспериментальным значениям по сравнению с ранее полученными результатами моделирования.

Предложено усовершенствованное математическое описание непрерывного процесса дымогенерации в ИК-Г НД, учитывающее его особенности, и намечены направления дальнейших исследований.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность доктору технических наук, профессору А. М. Ершову за формирование научного направления по разработке энергоэффективного оборудования для получения канцерогенно безопасных копильных сред, в рамках которого проводились исследования.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Библиографический список

- ИК-дымогенератор непрерывного действия : пат. 2671713 Рос. Федерация / Г. О. Шокин, Ю. В. Шокина, С. А. Саенков ; № 2017141336 ; заявл. 27.11.2017 ; опубл. 06.11.2018, Бюлл. № 31.
- Ким Г. Н. Обоснование и разработка барьерной технологии продуктов из гидробионтов : дис. ... д-ра техн. наук. Владивосток, 2002. 387 с.
- Коробицин А. А. Совершенствование процесса дымообразования в генераторах с инфракрасным подводом энергии на основе изучения массо- и теплопереноса в слое топлива : дис. ... канд. техн. наук. Мурманск, 2008. 232 с.
- Способ определения параметров теплофизических характеристик слоя сыпучих технологических материалов : пат. 2616343 Рос. Федерация / А. Б. Власов, Ю. В. Шокина, Г. О. Шокин ; № 2015151929 ; заявл. 03.12.2015 ; опубл. 14.04.2017, Бюлл. № 11.
- Шокина Ю. В., Коробицин А. А., Волков М. А. К вопросу о математическом моделировании процесса пиролиза топлива с использованием энергии инфракрасного излучения // Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания : сб. материалов 2-й Всерос. науч.-практ. конф., г. Челябинск, 24 октября 2008. Челябинск : Изд-во ЮУрГУ, 2009. С. 111–113.
- Шокина Ю. В., Обухов А. Ю., Коробицин А. А. Дымогенераторная техника и технологии. Мурманск : МГТУ, 2011. 215 с.
- Bundy A., Chuenpagdee R., Boldt J. L., Borges M. F. [et al.]. Strong fisheries management and governance positively impact ecosystem status // Fish and Fisheries. 2017. Vol. 18, Iss. 3. P. 412–439. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12184>.
- Essumang D. K., Dodoo D. K., Adjei J. K. Effect of smoke generation sources and smoke curing duration on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in different suites of fish // Food and Chemical Toxicology. 2013. Vol. 58. P. 86–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.04.014>.

- Fasano E., Yebra-Pimentel I., Martínez-Carballo E., Simal-Gándara J. Profiling, distribution and levels of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in traditional smoked plant and animal foods // *Food Control*. 2016. Vol. 59. P. 581–590. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.036>.
- Hitzel A., Pöhlmann M., Schwägele F., Speer K. [et al.]. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in meat products smoked with different types of wood and smoking spices // *Food Chemistry*. 2013. Vol. 139, Iss. 1–4. P. 955–962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.011>.
- Shokin G. Solving the problem of contaminating smoked food with carcinogenic compounds of smoke // *AGROFOR*. 2021. Vol. 6, Iss. 1. URL: <https://doisrpska.nub.rs/index.php/AGR/article/view/7749>.
- Shokin G., Shokina Yu. Modern methods and devices for obtaining technological smoke: Review // *Biological Resources Development and Environmental Management : International applied research conference*. KnE Life Sciences, 2020. P. 836–844. DOI: <https://doi.org/10.18502/cls.v5i1.6180>.
- Škaljac S., Jakanović M., Tomović V., Ivić M. [et al.]. Influence of smoking in traditional and industrial conditions on colour and content of polycyclic aromatic hydrocarbons in dry fermented sausage "Petrovska klobása" // *LWT*. 2018. Vol. 87. P. 158–162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.038>.
- Thorson J. T., Ianelli J. N., Kotwicki S. The relative influence of temperature and size-structure on fish distribution shifts: A case-study on Walleye pollock in the Bering Sea // *Fish and Fisheries*. 2017. Vol. 18, Iss. 6. P. 1073–1084. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12225>.

## References

- Shokin, G., Shokina, Yu., Saenkov, S. Murmansk State Technical University. 2018. IR smoke generator of continuous action, Russian Federation, Pat. 2671713. (In Russ.)
- Kim, G. 2002. Justification and development of barrier technology of products from hydrobionts. Ph.D. Thesis. Vladivostok. (In Russ.)
- Korobitsin, A. 2008. Improvement of the smoke generation process in generators with infrared energy supply based on the study of mass and heat transfer in the fuel layer. Ph.D. Thesis. Murmansk. (In Russ.)
- Vlasov, A., Shokina, Yu., Shokin, G. Murmansk State Technical University. 2017. Method for determining the parameters of thermophysical characteristics of a layer of bulk technological materials, Russian Federation, Pat. 2616343. (In Russ.)
- Shokina, Yu., Korobitsin, A., Volkov, M. 2009. On the mathematical modeling of the fuel pyrolysis process using infrared radiation energy. Proceedings of 2 All-Russ. conf. *The current state and prospects for the development of the food industry and public catering*, Chelyabinsk, 24 October 2008. Chelyabinsk, pp. 111–113. (In Russ.)
- Shokina, Yu. V., Obukhov, A. Yu., Korobitsyn, A. A. 2011. Smoke-generating equipment and technologies. Murmansk. (In Russ.)
- Bundy, A., Chuenpagdee, R., Boldt, J. L., Borges, M. F. et al. 2017. Strong fisheries management and governance positively impact ecosystem status. *Fish and Fisheries*, 18(3), pp. 412–439. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12184>.
- Essumang, D. K., Doodoo, D. K., Adjei, J. K. 2013. Effect of smoke generation sources and smoke curing duration on the levels of polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH) in different suites of fish. *Food and Chemical Toxicology*, 58, pp. 86–94. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2013.04.014>.
- Fasano, E., Yebra-Pimentel, I., Martínez-Carballo, E., Simal-Gándara, J. 2016. Profiling, distribution and levels of carcinogenic polycyclic aromatic hydrocarbons in traditional smoked plant and animal foods. *Food Control*, 59, pp. 581–590. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.06.036>.
- Hitzel, A., Pöhlmann, M., Schwägele, F., Speer, K. et al. 2013. Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) and phenolic substances in meat products smoked with different types of wood and smoking spices. *Food Chemistry*, 139(1–4), pp. 955–962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.011>.
- Shokin, G. 2021. Solving the problem of contaminating smoked food with carcinogenic compounds of smoke. *AGROFOR*, 6(1). URL: <https://doisrpska.nub.rs/index.php/AGR/article/view/7749>.
- Shokin, G., Shokina, Yu. 2020. Modern methods and devices for obtaining technological smoke: Review. *Biological Resources Development and Environmental Management : International applied research conference*. KnE Life Sciences, pp. 836–844. DOI: <https://doi.org/10.18502/cls.v5i1.6180>.
- Škaljac, S., Jakanović, M., Tomović, V., Ivić, M. et al. 2018. Influence of smoking in traditional and industrial conditions on colour and content of polycyclic aromatic hydrocarbons in dry fermented sausage "Petrovska klobása". *LWT*, 87, pp. 158–162. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.08.038>.
- Thorson, J. T., Ianelli, J. N., Kotwicki, S. 2017. The relative influence of temperature and size-structure on fish distribution shifts: A case-study on Walleye pollock in the Bering Sea. *Fish and Fisheries*, 18(6), pp. 1073–1084. DOI: <https://doi.org/10.1111/faf.12225>.

**Сведения об авторах**

**Шокин Григорий Олегович** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, аспирант; e-mail: shokingo@mstu.edu.ru,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4262-0457>

**Grigory O. Shokin** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Ph.D. Student; e-mail: shokingo@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4262-0457>

**Шокина Юлия Валерьевна** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, д-р техн. наук, профессор; e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

**Yulia V. Shokina** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Dr Sci. (Engineering), Professor; e-mail: shokinayuv@mstu.edu.ru,  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6513-1912>

**Мандрыка Константин Станиславович** – ул. Спортивная, 13, г. Мурманск, Россия, 183010;  
Мурманский арктический университет, аспирант; e-mail: mandrykaks@mstu.edu.ru,  
ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3580-6532>

**Konstantin S. Mandryka** – 13 Sportivnaya Str., Murmansk, Russia, 183010; Murmansk Arctic University,  
Ph.D. Student; e-mail: mandrykaks@mstu.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-3580-6532>

УДК 639.2

## Решение задачи оптимизации рыбодобывающей деятельности

С. В. Лисиенко, Н. С. Иванко\*

\*Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,  
г. Владивосток, Россия;  
e-mail: [ivns@mail.ru](mailto:ivns@mail.ru)

### Информация о статье Реферат

Поступила  
в редакцию  
07.06.2023;  
  
получена  
после доработки  
27.06.2023;  
  
принята к публикации  
29.06.2023

### Ключевые слова:

рыбодобывающая  
деятельность,  
водные биологические  
ресурсы,  
добывающий флот,  
оптимизация,  
математическая модель

Предлагается модель оптимального планирования рыбодобывающей деятельности, включающая в себя формирование биологического компонента (совокупности промысловых объектов, рассматриваемых с учетом их распределения по промысловым зонам) и технологического компонента (совокупность добывающих судов и технологий промысла). На основе этих компонент формируется технологическая цепочка "объект промысла – добывающее судно – технология добычи". Для каждого типа промыслового судна допустимо использование определенного вида (или нескольких видов) технологий промысла, напрямую связанных с промысловыми объектами, добыча которых осуществляется только с применением определенной технологии. Особое внимание в модели отводится задаче определения оптимального количественного состава добывающего флота. Критерием оптимизации является минимизация издержек, связанных с рыбодобывающей деятельностью специализированных судов при условии достижения заданных объемов добычи (вылова). Издержки напрямую связаны с используемыми типами судов, топливными расходами, которые зависят от порта базирования судна и времени, необходимого для осуществления погрузо-разгрузочных работ. В задаче оптимизации используются оценки средневзвешенного суточного вылова и промыслового времени для учета большинства издержек, связанных с процессом добычи водных биологических ресурсов. Алгоритм оптимизации рассмотрен на примере добычи кальмара командорского (*Berryteuthis magister*) в Северо-Курильской зоне, вылов которого ведется с использованием траловой технологии. Основными типами судов, осуществляющими добычу кальмара, являются крупнотоннажные и среднетоннажные суда.

### Для цитирования

Лисиенко С. В. и др. Решение задачи оптимизации рыбодобывающей деятельности. Вестник МГТУ. 2023. Т. 26, № 3. С. 335–343. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-335-343>.

## Solving the problem of optimizing fishing activities

Svetlana V. Lisienko, Nina S. Ivanko\*

\*Far Eastern State Technical Fishery University, Vladivostok, Russia;  
e-mail: [ivns@mail.ru](mailto:ivns@mail.ru)

### Article info

Received 07.06.2023;  
  
received  
in revised form  
27.06.2023;  
  
accepted 29.06.2023

### Key words:

fishing activity,  
aquatic biological  
resources,  
fishing fleet,  
optimization,  
mathematical model

### Abstract

A model for optimal planning of fishing activities has been proposed. It includes the formation of a biological component (a set of fishing objects considered taking into account their distribution over fishing zones) and a technological component (a set of fishing vessels and fishing technologies). On the basis of these two components, the technological chain "field object – production vessel – production technology" is formed. For each type of fishing vessel, it is permissible to use a certain type (or several types) of fishing technologies that are directly related to fishing objects, their catch can be carried out only using a certain production technology. Particular attention in the model is given to the problem of determining the optimal quantitative composition of the production fleet. The optimization criterion is the minimization of the costs associated with the fishing activities of specialized vessels, provided that the specified volumes of catch are achieved. The costs are directly related to the types of vessels used, fuel costs depending on the vessel's home port and the time required for loading and unloading operations. In the optimization problem, estimates of the weighted average daily catch and fishing time are used to account for most of the costs associated with the extraction of aquatic biological resources. The optimization algorithm is considered on the example of the Commander squid (*Berryteuthis magister*) in the North Kuril zone. In the area under consideration, squid production is carried out using trawl technology. The main types of vessels engaged in squid harvesting are large-capacity and medium-capacity vessels.

### For citation

Lisienko, S. V. et al. 2023. Solving the problem of optimizing fishing activities. *Vestnik of MSTU*, 26(3), pp. 335–343. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2023-26-3-335-343>.

## Введение

Рыбодобывающая деятельность – сложный стохастический процесс, характеризующийся большим количеством управляемых и неуправляемых факторов различной природы. Одним из возможных способов исследования влияния неуправляемых факторов на сложный процесс является моделирование. При создании моделей с учетом неопределенностей используется математический аппарат, в частности методы линейного программирования (Андреев и др., 1975; Perez-Lechuga et al., 2006; Мельников, 2009; Мельников и др., 2010; Лисиенко и др., 2019, 2021б; Иванко, 2021; Осипов и др., 2021), а также аппарат динамического программирования (Андреев и др., 1975; Babcock et al., 2011; Forootani et al., 2020; Лисиенко и др., 2021). Частные модели управления промыслом на протяжении более чем века рассматривались различными авторами, к таким моделям можно отнести модель управления промыслом с учетом неуправляемых факторов (Андреев и др., 1975; Taleizadeh et al., 2013; Bakhrankova et al., 2014; Kuppulakshmi et al., 2021; Лисиенко и др., 2021а), интегральную стохастическую модель, учитывающую неопределенности процессов переработки сырья, при этом берется во внимание ухудшение качества рыбы и ограничения срока годности (Лисиенко и др., 2020; Finnis et al., 2022). Моделирование проблем логистики и способы их решения описаны в работах (Дверник, 2013; Taleizadeh et al., 2013; Мойсеенко и др. 2016; 2018; Лисиенко, 2021).

Процесс добычи рыбы и морепродуктов является частью единого производственного процесса рыбохозяйственной деятельности, в состав которой входят такие процессы, как переработка, транспортировка и сбыт. В каждом из этих процессов присутствуют неопределенности, так, например, в системе "Добыча" присутствует неопределенность, связанная с суточным выловом. На величину суточного вылова оказывают влияние неуправляемые факторы, такие как гидрометеороусловия района промысла, биологическое состояние объекта промысла и другие. Влияние всех факторов ведет к появлению промысловых издержек, а их формирование находится в прямой зависимости от полученного суточного вылова. При моделировании для каждого типа судна выполняется расчет среднесуточного вылова (Лисиенко и др., 2021а).

При наличии оценки среднесуточного вылова  $\bar{a}_{\text{ср}}$  для определенного типа судна на основании предложенной методики планирования рейсообразования можно произвести расчет промыслового времени  $t_{\text{пром}}$  и потребного количества судов  $n$  данного типа для получения оптимального освоения промыслового объекта.

Цель работы – составить задачу оптимизации на основе метода исследования необходимых операций для выбора состава флота с минимизацией дополнительных издержек.

## Материалы и методы

Ресурсный потенциал промысловой зоны представлен совокупностью промысловых объектов, которые условно можно разделить на две составляющие – совокупность промысловых объектов, на которые устанавливаются общие допустимые уловы (ПООД<sub>*i*</sub>, ОДУемые объекты), и совокупность промысловых объектов, на которые общие допустимые уловы не устанавливаются (ПОНД<sub>*i*</sub>, неОДУемые объекты). Обе эти совокупности формируют блок биологических компонент (биоблок) при моделировании системы "Промысловая зона".

Для каждого промыслового объекта устанавливаются технологические цепочки "объект промысла – добывающее судно – технология добычи" (Лисиенко, 2021).

Обозначим ДС<sub>*z*</sub> – добывающее судно типа *z*, ТД<sub>*l*</sub> – технология добычи. Все добывающие суда можно разделить на крупнотоннажные (обозначим КТДС<sub>*k*</sub>), среднетоннажные (СТДС<sub>*N*</sub>) и малотоннажные (МТДС<sub>*l*</sub>).

В общем случае можно выделить 6 основных технологий добычи. Для судов КТДС<sub>*k*</sub> независимо от вида промыслового объекта используется одна технология добычи, для удобства обозначим ее ТД<sub>*1*</sub>, для судов МТДС<sub>*l*</sub> и СТДС<sub>*N*</sub> используемая технология добычи зависит от добываемого объекта. На рис. 1 представлена схема соотношения технологии добычи и совокупностей добывающих судов, разделенных по тоннажу.

Представленная схема является частью технологического компонента при моделировании системы "Промысловая зона" и формирует техноблок (Лисиенко, 2021).

Для дальнейшего удобства обозначим совокупность технологий добычи доступных для судов типа МТДС<sub>*l*</sub> как ТД<sub>*l*</sub>, для судов типа СТДС<sub>*N*</sub> – ТД<sub>*N*</sub>, а для судов типа КТДС<sub>*k*</sub> – ТД<sub>*k*</sub>. Далее под ТД<sub>*l*</sub>, ТД<sub>*N*</sub>, ТД<sub>*k*</sub> будем понимать и использовать совокупности доступных технологий добычи. Тогда для ОДУемого промыслового объекта ПООД<sub>*i*</sub> может быть использован тип добывающего судна МТДС<sub>*l*</sub> или СТДС<sub>*N*</sub>, или КТДС<sub>*k*</sub> с определенной технологией добычи.

В процессе ведения добывающей деятельности имеют место затраты, связанные с издержками на добычу, переработку и транспортировку водных биологических ресурсов. Рассмотрим некоторое добывающее судно, его затраты можно представить как сумму таких сметных затрат (Лисиенко, 2013):

- заработная плата;
- стоимость орудий лова;
- затраты на топливо, смазочные и вспомогательные материалы (вода, лед, хладагенты);
- износ и ремонт орудий лова, промснаряжения и проминвентаря;
- затраты на тару и тарные материалы;
- амортизационные отчисления;

- затраты на вспомогательные материалы;
- транспортные расходы;
- цеховые и общезаводские расходы;
- внепроизводственные расходы;
- прочие производственные расходы.

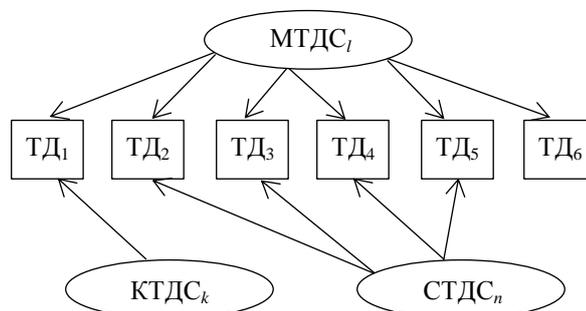


Рис. 1. Соотнесение технологий добычи и добывающих судов  
 Fig. 1. Correlation of fishing technologies and fishing vessels

Для расчета каждого вида затрат из представленного списка определены формула и зависимости (Лисиенко, 2013). На основании данных зависимостей и анализа рассчитанных затрат для различных технологических цепочек "объект промысла – добывающее судно – технология добычи" можно сделать следующие выводы:

– все затраты зависят от выбранного промыслового объекта, некоторые (например, затраты на тару и тарные материалы) – напрямую от вида добываемого промыслового объекта, так как количество и вид тары зависит от имеющихся разрешений на добычу (вылов) промысловых объектов. Некоторые затраты (например, на топливо, смазочные и вспомогательные материалы) – косвенно, так как зависят от района промысла, в котором будет вестись добыча промыслового объекта, точнее от расстояния от порта базирования судна до места промысла. Также на сумму затрат оказывает влияние факт, устанавливаются ли на промысловый объект ОДУ;

– стоимость орудий лова, износ и ремонт зависят от выбранной технологии промысла. Затраты на топливо, смазочные и вспомогательные материалы зависят от выбранного добывающего судна, но для судов, относящихся к одному классу тоннажности, суммарные затраты близки по итоговым значениям.

Аналогичные выводы можно сделать по каждому показателю затрат и, таким образом, получить зависимость среднесуточных затрат добывающего судна от его тоннажности, выбранной технологии добычи и выбранного промыслового объекта.

### Результаты и обсуждение

Обозначим среднесуточные затраты малотоннажного добывающего судна МТДС<sub>l</sub> с технологией добычи ТД<sub>l</sub> при добыче объекта ПООД<sub>i</sub> –  $Z_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПООД_i)$ , среднесуточные затраты среднетоннажного добывающего судна СТДС<sub>N</sub> с технологией добычи ТД<sub>N</sub> при добыче объекта ПООД<sub>i</sub> –  $Z_{cp}(CTDC_N, TД_N, ПООД_i)$ , среднесуточные затраты крупнотоннажного добывающего судна КТДС<sub>k</sub> с технологией добычи ТД<sub>k</sub> при добыче объекта ПООД<sub>i</sub> –  $Z_{cp}(KTDC_k, TД_k, ПООД_i)$ . Обозначив аналогичным образом затраты добывающих судов, ведущих промысел неОДУемых объектов ПОНД<sub>j</sub>, получаем

$$\begin{aligned} & Z_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПОНД_j); \\ & Z_{cp}(CTDC_N, TД_N, ПОНД_j); \\ & Z_{cp}(KTDC_k, TД_k, ПОНД_j). \end{aligned}$$

Обозначим  $n_l$  количество добывающих судов типа МТДС<sub>l</sub>,  $n_N$  – количество добывающих судов типа СТДС<sub>N</sub>,  $n_k$  – количество добывающих судов типа КТДС<sub>k</sub>.

Для каждой технологической цепочки "объект промысла – добывающее судно – технология добычи" определяется средневзвешенный суточный вылов объекта, например, для малотоннажного судна  $\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПООД_i)$ , и соответствующее время промысла  $t_{пром}(MTDC_l, TД_l, ПООД_i)$ .

Таким образом, затраты малотоннажного судна МТДС<sub>l</sub> за сутки промысла на 1 т добытого объекта составляют

$$\frac{Z_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПООД_i)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПООД_i)}$$

За рейс эти затраты составят

$$\frac{Z_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПООД_i) t_{пром}(MTDC_l, TД_l, ПООД_i)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TД_l, ПООД_i)}$$

Если будет использовано  $n_i$  судов, то их затраты составят

$$\frac{Z_{cp}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)}n_i.$$

Так как добыча объекта может вестись судами различного типа, получаем суммарные затраты добычи объекта POOD<sub>i</sub>

$$\begin{aligned} & \sum_l \frac{Z_{cp}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)}n_i + \\ & + \sum_N \frac{Z_{cp}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)t_{пром}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)}n_N + \\ & + \sum_k \frac{Z_{cp}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)t_{пром}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)}n_k. \end{aligned}$$

Необходимо минимизировать полученные затраты при условии освоения ОДУ на определенный процент согласно стратегии развития. Пусть  $f_i$  – процент освоения ОДУ, получаем ограничение

$$\begin{aligned} & \sum_l \tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)n_l + \\ & + \sum_N \tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)t_{пром}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)n_N + \\ & + \sum_k \tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)t_{пром}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)n_k \geq f_i \cdot ODU_i. \end{aligned}$$

Задача имеет вид

$$\begin{aligned} & \left. \begin{aligned} & \sum_i \left( \sum_l \frac{Z_{cp}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)}n_l + \right. \\ & + \sum_N \frac{Z_{cp}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)t_{пром}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)}n_N + \\ & \left. + \sum_k \frac{Z_{cp}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)t_{пром}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)}{\tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)}n_k \right) \rightarrow \min. \end{aligned} \right\} \\ & \sum_l \tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)t_{пром}(MTDC_l, TD_l, POOD_i)n_l + \\ & + \sum_N \tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)t_{пром}(CTDC_N, TD_N, POOD_i)n_N + \\ & + \sum_k \tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)t_{пром}(KTDC_k, TD_k, POOD_i)n_k \geq f_i \cdot ODU_i, i = 1, 2, \dots, \end{aligned}$$

где  $n_l, n_N, n_k \geq 0$  – целые числа.

Для неОДУемых объектов ограничение на объем освоения ОДУ заменяется на плановые показатели освоения квот  $f_j \cdot OK_j$ , в этом случае задача принимает вид

$$\begin{aligned} & \left. \begin{aligned} & \sum_j \left( \sum_l \frac{Z_{cp}(MTDC_l, TD_l, ПОНД_j)t_{пром}(MTDC_l, TD_l, ПОНД_j)}{\tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TD_l, ПОНД_j)}n_l + \right. \\ & + \sum_N \frac{Z_{cp}(CTDC_N, TD_N, ПОНД_j)t_{пром}(CTDC_N, TD_N, ПОНД_j)}{\tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TD_N, ПОНД_j)}n_N + \\ & \left. + \sum_k \frac{Z_{cp}(KTDC_k, TD_k, ПОНД_j)t_{пром}(KTDC_k, TD_k, ПОНД_j)}{\tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TD_k, ПОНД_j)}n_k \right) \rightarrow \min. \end{aligned} \right\} \\ & \sum_l \tilde{a}_{cp}(MTDC_l, TD_l, ПОНД_j)t_{пром}(MTDC_l, TD_l, ПОНД_j)n_l + \\ & + \sum_N \tilde{a}_{cp}(CTDC_N, TD_N, ПОНД_j)t_{пром}(CTDC_N, TD_N, ПОНД_j)n_N + \\ & + \sum_k \tilde{a}_{cp}(KTDC_k, TD_k, ПОНД_j)t_{пром}(KTDC_k, TD_k, ПОНД_j)n_k \geq f_j \cdot OK_j, j = 1, 2, \dots, \end{aligned}$$

где  $n_l, n_N, n_k \geq 0$  – целые числа.

Задача оптимизации рыбодобывающей деятельности по составу добывающего флота при условии минимизации промысловых издержек и для достижения полного освоения ОДУ представлена на рис. 2.

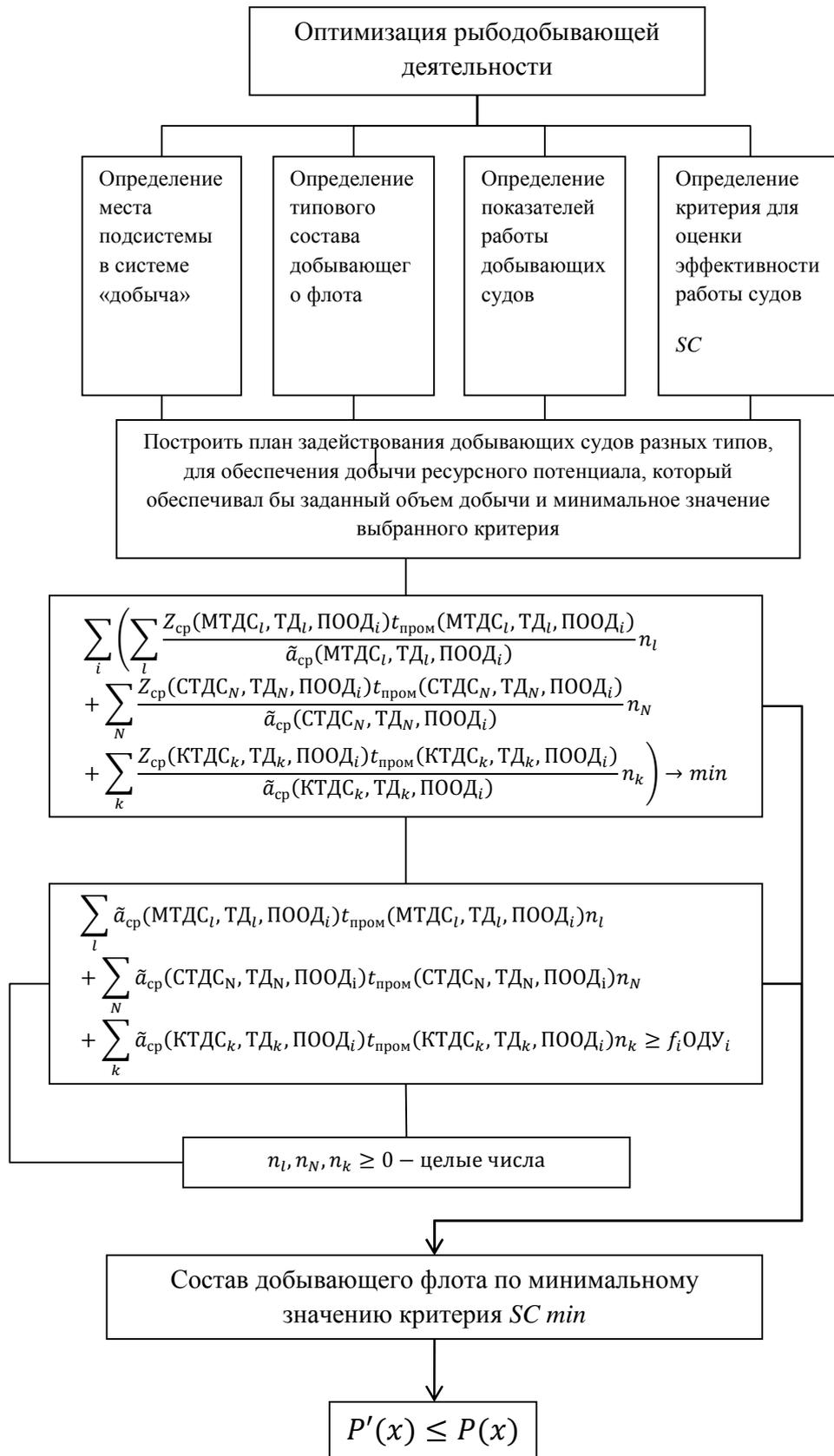


Рис. 2. Задача оптимизации рыбодобывающей деятельности при минимизации промысловых издержек  
 Fig. 2. The task of optimizing the fishing activities while minimizing fishing costs

Аналогичный вид имеет задача оптимизации рыбодобывающей деятельности по составу добывающего флота при условии минимизации промысловых издержек и для достижения показателей квот добычи (вылова).

Схема обобщенной оптимизационной модели планирования рыбодобывающей деятельности в индустриальной логистической системе "Промысловая зона" представлена на рис. 3.

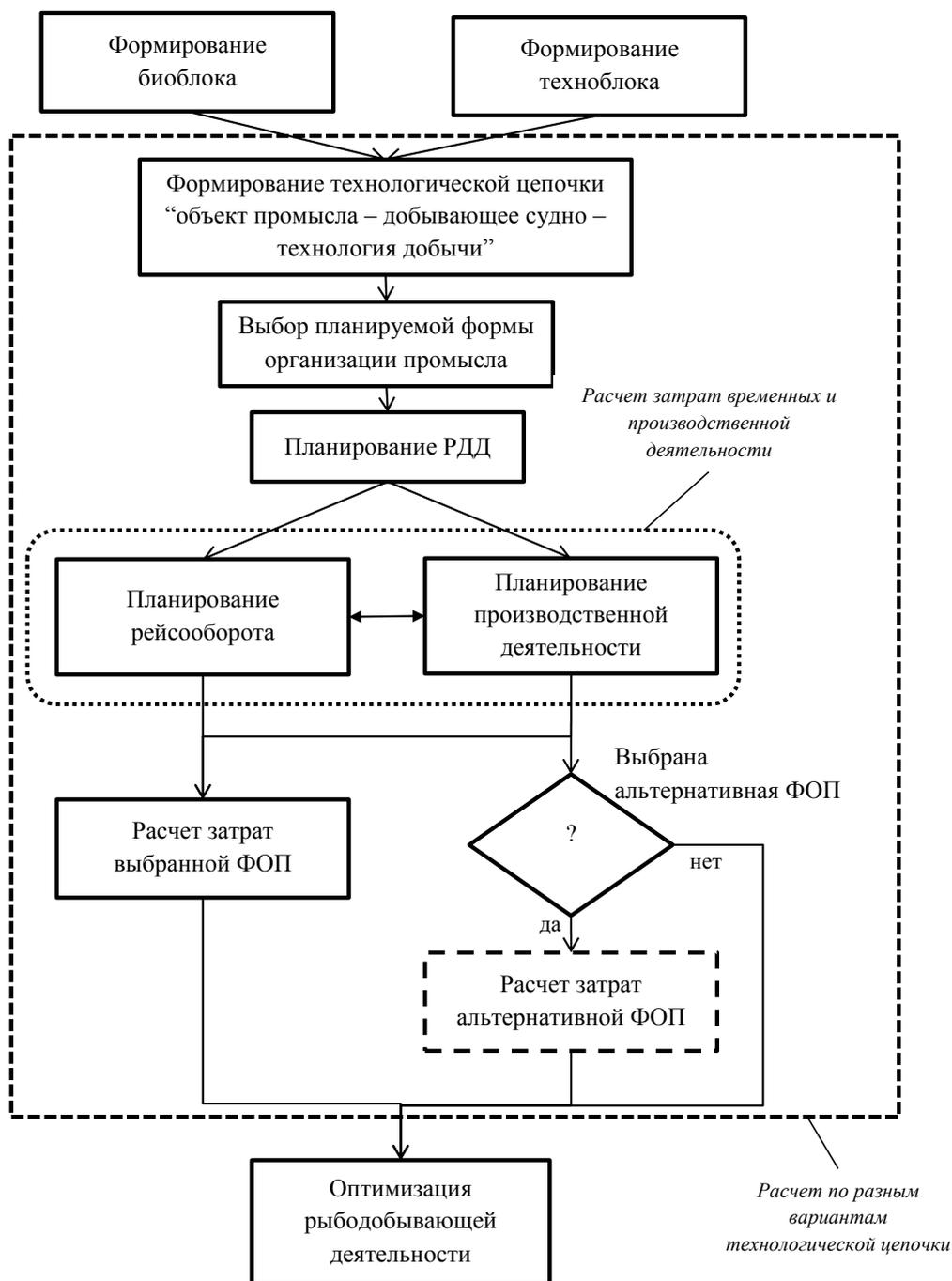


Рис. 3. Обобщенная модель планирования рыбодобывающей деятельности  
Fig. 3. The generalized model of fishing activity planning

В Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне ведется добыча двух видов кальмаров: командорского кальмара (*Beryteuthis magister*) и тихоокеанского кальмара (*Todarodes pacificus*). Проведенный ранее анализ добычи кальмаров (Иванко, 2021) показал, что промысел данного биоресурса ведется при задействовании трех видов судов БМРТ, СРТМ и РТМ с использованием траловых орудий лова.

Для примера рассмотрим добычу кальмара командорского (далее – кальмар) в Северо-Курильской зоне. В этой зоне кальмар является объектом, на который устанавливается общий допустимый улов (ОДУ).

Значение ОДУ с 2015 г. ежегодно составляет 85 000 т и остается постоянным. Период промысловой доступности кальмара с мая по ноябрь. Почти 80 % объемов добычи кальмара приходится на Северо-Курильскую зону.

Так как кальмар находится в смешанных скоплениях с минтаем, оптимальное время тралений – это ночной период (Осипов, 2022). Улов за одно траление в указанный суточный период может составить 10–15 т, а за рассматриваемый временной интервал может быть выполнено до 4-х тралений. Таким образом, суточный вылов при оптимальном использовании временных ресурсов может достигать 40–60 т в зависимости от типа судна.

Сформированы три технологические цепочки:

БМРТ – траловая технология добычи с использованием разноглубинных тралов – кальмар;

СРТМ – траловая технология добычи с использованием разноглубинных тралов – кальмар;

РТМ – траловая технология добычи с использованием разноглубинных тралов – кальмар.

В качестве основной формы организации промысла для каждого типа судна выбрана автономная форма, она не требует привлечения дополнительно транспортных судов и на данном этапе развития рыболовства является наиболее часто используемой.

Для решения оптимизационной задачи расчета необходимого количества судов трех типов с учетом периода промысловой доступности кальмара и при условии оптимального планирования рейсооборота судна были приняты следующие значения для среднесуточных уловов каждым судном: БМРТ – 39,7 т, СРТМ – 30,3 т, РТМ – 16,3 т. Планируемые значения среднесуточного вылова построены на основании статистических промысловых данных за пятилетний период и с учетом оптимального суточного времени траления для добычи кальмара.

Результат решения оптимизационной задачи следующий: общее количество судов, необходимое для освоения ОДУ более чем на 95 %, составляет 26, из них 5 крупнотоннажных судов (2 судна типа БМРТ и 3 типа РТМ) и 21 среднетоннажное судно типа СРТМ. Ожидаемый суммарный вылов составит 84 580 т, что соответствует освоению имеющегося ОДУ для Северо-Курильской зоны на 99,5 %.

## Заключение

Представленная схема отображает комплекс объектов и процессов проектирования, моделирования, последовательность выполнения планирования и проведения расчетов с целью оптимизации рыбодобывающего процесса по определению состава добывающего флота для достижения полного освоения ОДУ и (или) плановых показателей квот добычи (вылова) путем максимизации объемов вылова при условии минимизации промысловых издержек.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Библиографический список

- Андреев М. Н., Студенецкий С. А. Оптимальное управление на промысле. М. : Пищевая промышленность, 1975. 288 с.
- Дверник А. В. Технология и управление промышленным рыболовством. М. : МОРКНИГА, 2013. 318 с.
- Иванко Н. С. Моделирование распределения сырья по видам обработки на добывающем судне с законченным производственным циклом // Научные труды Дальрыбвтуза. 2021. Т. 58, № 4. С. 16–24. EDN: XVPHMH.
- Лисиенко С. В. Моделирование системы "Промысел" на основе биотехнологического дуализма // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. 2021. № 3. С. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-3-94-101>. EDN: QWZIJL.
- Лисиенко С. В. Теоретические основы формирования логистического подхода, как методологии совершенствования организации и управления промысловыми системами при ведении добычи ВБР // Рыбное хозяйство. 2013. № 5. С. 75–78.
- Лисиенко С. В., Вальков В. Е., Иванко Н. С., Бойцов А. Н. Разработка математической модели и оптимизационной задачи по организации и управлению промысловым флотом при ведении добычи водных биологических ресурсов на примере промысла дальневосточной сардины (иваси) и скумбрии в Дальневосточном рыбохозяйственном бассейне // Морские интеллектуальные технологии. 2019. № 4–2(46). С. 147–153. EDN: RGMIRK.
- Лисиенко С. В., Иванко Н. С. Моделирование процессов ведения рыбодобывающей деятельности в многовидовой промысловой системе "Промысловая зона рыбохозяйственного бассейна" при статической постановке оптимизационной задачи (на примере Северо-Курильской зоны Дальневосточного рыбохозяйственного бассейна) // Морские интеллектуальные технологии. 2020. № 3–1(49). С. 253–259. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2020.49.3.034>. EDN: OHGLRN.
- Лисиенко С. В., Иванко Н. С. Планирование рейсооборота добывающих судов // Морские интеллектуальные технологии. 2021а. № 2–1(52). С. 200–208. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2021.52.2.028>. EDN: UNJISL.

- Лисиенко С. В., Иванко Н. С. Формирование и оптимизация издержек производственной рыбодобывающей деятельности судов // *Морские интеллектуальные технологии*. 2021б. № 4–1(54). С. 227–231. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2021.54.4.056>. EDN: ODEEDZ.
- Мельников В. Н. Общая характеристика основных видов математических моделей теории рыболовства // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство*. 2009. № 1. С. 17–22. EDN: KHORID.
- Мельников В. Н., Мельников А. В. Совершенствование общей теории промышленного рыболовства // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство*. 2010. № 1. С. 42–53. EDN: LJMVLV.
- Мойсеенко С. С., Мейлер Л. Е. Рыбопромышленная логистика. Калининград : БГРАФ, 2015. 174 с.
- Мойсеенко С. С., Мороз Е. О. Оптимизация системы транспортного обслуживания рыболовных судов // *Морские интеллектуальные технологии*. 2018. № 4–3(42). С. 168–176. EDN: YXUNQL.
- Осипов Е. В. Промысел командорского кальмара BERYTEUTHIS MAGISTER (Berry, 1913) в российской зоне японского моря // *Рыбное хозяйство*. 2022. № 2. С. 42–45 DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-2-42-45>. EDN: DUWGDH.
- Осипов Е. В., Павлов Г. С. Технология тралового промысла тихоокеанского кальмара // *Рыбное хозяйство*. 2021. № 3. С. 108–111. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-3-108-111>. EDN: ICAYCV.
- Babcock E., Pikitch E. A dynamic programming model of fishing strategy choice in a multispecies trawl fishery with trip limits // *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2011. Vol. 57, Iss. 2. P. 357–370. DOI: <https://doi.org/10.1139/f99-257>.
- Bakhrankova K., Midthun K. T., Uggen K. T. Stochastic optimization of operational production planning for fisheries // *Fisheries Research*. 2014. Vol. 157. P. 147–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.03.018>.
- Finnis J., Reid-Musson E. Managing weather & fishing safety: Marine meteorology and fishing decision-making from a governance and safety perspective // *Marine Policy*. 2022. Vol. 142. Article number: 105120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105120>.
- Forootani A., Iervolino R., Tipaldi M., Neilson J. Approximate dynamic programming for stochastic resource allocation problems // *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*. 2020. Vol. 7, Iss. 4. P. 975–990. DOI: <https://doi.org/10.1109/jas.2020.1003231>.
- Kuppulakshmi V., Sugapriya C., Nagarajan D. Economic fish production inventory model for perishable fish items with the deterioration rate and the added value under pentagonal fuzzy number // *Complex & Intelligent Systems*. 2021. Vol. 7. P. 417–428. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00222-8>.
- Perez-Lechuga G., Alvarez-Suarez M. M., Garnica-Gonzalez J., Niccolas-Morales H. [et al.]. Stochastic linear programming to optimize some stochastic systems // *Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on SYSTEMS, Vouliagmeni, Athens, Greece, 2006*. P. 313–318. URL: [file:///C:/Users/inยุกinamv/Downloads/Stochastic\\_linear\\_programming\\_to\\_optimize\\_some\\_sto.pdf](file:///C:/Users/inยุกinamv/Downloads/Stochastic_linear_programming_to_optimize_some_sto.pdf).
- Taleizadeh A. A., Wee H.-M., Jalali-Naini S. G. Economic production quantity model with repair failure and limited capacity // *Applied Mathematical Modelling*. 2013. Vol. 37, Iss. 5. P. 2765–2774. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.06.006>.

## References

- Andreev, M. N., Studenetsky, S. A. 1975. Optimal control in the field. Moscow. (In Russ.)
- Dvernik, A. V. 2013. Technology and management of industrial fisheries. Moscow. (In Russ.)
- Ivanko, N. S. 2021. Modeling the distribution of raw material by type of processing on a mining vessel with a complete production cycle. *Scientific Journal of the Far East State Technical Fisheries University*, 58(4), pp. 16–24. EDN: XVPMMH. (In Russ.)
- Lisienko, S. V. 2021. Modeling of the "Promysel" system on the basis of biotechnological dualism. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 3, pp. 94–101. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2021-3-94-101>. EDN: QWZIJL. (In Russ.)
- Lisienko, S. V. 2013. Theoretical basis for logistic approach as a methodology for improvement of organization and management of fishing systems when harvesting aquatic living resources. *Fisheries*, 5, pp. 75–78. (In Russ.)
- Lisienko, S. V., Valkov, V. E., Ivanko, N. S., Boytsov, A. N. 2019. Development of a mathematical model and optimization problem for the organization and management of the fishing fleet in the production of aquatic biological resources on the example of the Far Eastern sardine (ivasi) and mackerel fisheries in the Far Eastern fishery basin. *Marine Intellectual Technologies*, 4–2(46), pp. 147–153. EDN: RGMIRK. (In Russ.)
- Lisienko, S. V., Ivanko, N. S. 2020. Modeling the processes of conducting fishing activities in the multi-species fishing system "fishing zone of the fishery basin" with a static formulation of the optimization problem (on the example of the North Kuril zone of the Far Eastern fishery basin). *Marine Intellectual Technologies*, 3–1(49), pp. 253–259. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2020.49.3.034>. EDN: OHGLRN. (In Russ.)
- Lisienko, S. V., Ivanko, N. S. 2021a. Planning of the voyage of producing vessels. *Marine Intellectual Technologies*, 2–1(52), pp. 200–208. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2021.52.2.028>. EDN: UNJISL. (In Russ.)

- Lisienko, S. V., Ivanko, N. S. 2021b. Formation and optimization of the costs of production fishing activities of vessels. *Marine Intellectual Technologies*, 4–1(54), pp. 227–231. DOI: <https://doi.org/10.37220/mit.2021.54.4.056>. EDN: ODEEDZ. (In Russ.)
- Melnikov, V. N. 2009. General characteristics of the main types of mathematical models of the theory of fishing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 1, pp. 17–22. EDN: KHORID. (In Russ.)
- Melnikov, V. N., Melnikov, A. V. 2010. Improving the general theory of industrial fishing. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing Industry*, 1, pp. 42–53. EDN: LJMVLV. (In Russ.)
- Moiseenko, S. S., Meyler, L. E. 2016. Fishing logistics. Kaliningrad. (In Russ.)
- Moiseenko, S. S., Moroz, E. O. 2018. Optimization of the transport service system for fishing vessels. *Marine Intellectual Technologies*, 4–3(42), pp. 168–176. EDN: YXUNQL. (In Russ.)
- Osipov, E. V. 2022. Fishery of the Commander squid BERYTEUTHIS MAGISTER (berry, 1913) in the Russian zone of the Sea of Japan. *Fisheries*, 2, pp. 42–45. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2022-2-42-45>. EDN: DUWGDH. (In Russ.)
- Osipov, E. V., Pavlov, H. S. 2021. Pacific flying squid trawling technology. *Fisheries*, 3, pp. 108–111. DOI: <https://doi.org/10.37663/0131-6184-2021-3-108-111>. EDN: ICAYCV. (In Russ.)
- Babcock, E., Pikitich, E. 2011. A dynamic programming model of fishing strategy choice in a multispecies trawl fishery with trip limits. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57(2), pp. 357–370. DOI: <https://doi.org/10.1139/f99-257>.
- Bakhrankova, K., Midthun, K. T., Uggen, K. T. 2014. Stochastic optimization of operational production planning for fisheries. *Fisheries Research*, 157, pp. 147–153. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2014.03.018>.
- Finnis, J., Reid-Musson, E. 2022. Managing weather & fishing safety: Marine meteorology and fishing decision-making from a governance and safety perspective. *Marine Policy*, 142. Article number: 105120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2022.105120>.
- Forootani, A., Iervolino, R., Tipaldi, M., Neilson, J. 2020. Approximate dynamic programming for stochastic resource allocation problems. *IEEE/CAA Journal of Automatica Sinica*, 7(4), pp. 975–990. DOI: <https://doi.org/10.1109/jas.2020.1003231>.
- Kuppulakshmi, V., Sugapriya, C., Nagarajan, D. 2021. Economic fish production inventory model for perishable fish items with the deterioration rate and the added value under pentagonal fuzzy number. *Complex & Intelligent Systems*, 7, pp. 417–428. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00222-8>.
- Perez-Lechuga, G., Alvarez-Suarez, M. M., Garnica-Gonzalez, J., Niccolas-Morales, H. et al. 2006. Stochastic linear programming to optimize some stochastic systems. *Proceedings of the 10th WSEAS International Conference on SYSTEMS*, Vouliagmeni, Athens, Greece, 2006, pp. 313–318. URL: [file:///C:/Users/inuyukinamv/Downloads/Stochastic\\_linear\\_programming\\_to\\_optimize\\_some\\_sto.pdf](file:///C:/Users/inuyukinamv/Downloads/Stochastic_linear_programming_to_optimize_some_sto.pdf).
- Taleizadeh, A. A., Wee, H.-M., Jalali-Naini, S. G. 2013. Economic production quantity model with repair failure and limited capacity. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), pp. 2765–2774. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.06.006>.

#### Сведения об авторах

**Лисиенко Светлана Владимировна** – ул. Луговая, 52б, г. Владивосток, Россия, 690087; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, д-р техн. наук, доцент; e-mail: [lisienkosv@mail.ru](mailto:lisienkosv@mail.ru)

**Svetlana V. Lisienko** – 52b Lugovaya Str., Vladivostok, 690087; Far Eastern State Technical Fishery University, Dr Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: [lisienkosv@mail.ru](mailto:lisienkosv@mail.ru)

**Иванко Нина Сергеевна** – ул. Луговая, 52б, г. Владивосток, Россия, 690087; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, ст. преподаватель; e-mail: [ivns@mail.ru](mailto:ivns@mail.ru)

**Nina S. Ivanko** – 52b Lugovaya Str., Vladivostok, 690087; Far Eastern State Technical Fishery University, Senior Lecturer; e-mail: [ivns@mail.ru](mailto:ivns@mail.ru)

## Журнал зарегистрирован

Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия  
Свидетельство о регистрации средства массовой информации  
ПИ № ФС77-26674 от 22 декабря 2006 г.

### Оформить подписку на журнал «Вестник МГТУ» можно:

– по Объединенному каталогу «ПРЕССА РОССИИ». Подписной индекс – 41212

URL: <https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/i41212/>

Журнал включен в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых  
должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание  
ученых степеней доктора и кандидата наук:

URL: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/documents#tab=\\_tab:editions~](https://vak.minobrnauki.gov.ru/documents#tab=_tab:editions~).

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования.

Журнал включен в базы данных: Zoological Record  
на платформе Web of Science (WoS), Food Science and Technology Abstracts  
(FSTA), GeoRef.

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции  
95 2000 ОК 005-93

---

## ВЕСТНИК МГТУ

Том 26, № 3 (июль – сентябрь) 2023 г.



9 771560 927007

---

Подписано в печать 26.09.2023  
Дата выхода в свет 29.09.2023  
Формат 60×84/8. Бумага типографская  
Печать ризографическая  
Усл. печ. л. 16.52. Тираж 500 экз. Заказ № 142.  
Цена 2000 р. 00 коп.

Адрес издателя:  
ФГБОУ ВО «МГТУ»  
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13

Отпечатано в информационно-издательском центре МГТУ:  
183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, д. 13