

32(2), 2024

ISSN 2072-9669

eISSN 2658-767X

Хранение и переработка сельхозсырья  
Storage and Processing of Farm Products

ХИП С

SPFP



# ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ

Том 32, № 2 | 2024

Периодичность издания — 4 номера в год  
Основан в 1993 г.

ISSN 2072-9669

eISSN 2658-767X

**УЧРЕДИТЕЛЬ, ИЗДАТЕЛЬ И РЕДАКЦИЯ:** Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация.

**РЕДАКЦИЯ**

Заведующий редакцией и академический редактор — Тихонова Елена Викторовна.  
Выпускающий редактор — Иванова Марина Александровна.  
Ответственный секретарь — Косячева Марина Александровна.

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-71128 от 22 сентября 2017 г.

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» по группам специальностей:

- 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ (технические науки) — с 01.02.2022
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (биологические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры сельскохозяйственные науки) — с 15.02.2023
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки) — с 15.02.2023
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (сельскохозяйственные науки) — с 15.02.2023
- 4.3.3. Пищевые системы (биологические науки) — с 15.02.2023
- 4.3.3. Пищевые системы (технические науки) — с 15.02.2023
- 2.3.3. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (технические науки) — с 15.02.2023

**КОНТАКТЫ РЕДАКЦИИ:**

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11  
Тел. +7 (499) 750-01-11\*6585

E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Сайт учредителя: <https://www.mgupp.ru>Сайт журнала: <https://www.spfp-mgupp.ru>

Отпечатано в ООО «Издательство «Проспект»  
121471, Москва, ул. Рябиновая, 51-А, стр. 1.

Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная.  
Тираж 100 экз. Подписано в печать 30.12.2023. Свободная цена.

© Российский биотехнологический университет  
(РОСБИОТЕХ), 2024

# STORAGE AND PROCESSING OF FARM PRODUCTS

Vol. 32, No. 2 | 2024

Периодичность издания — quarterly  
Published since 1993

ISSN 2072-9669

eISSN 2658-767X

**FOUNDER, PUBLISHER AND EDITORIAL:** Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russian Federation.

**EDITORIAL OFFICE**

Head of Editorial Team and Academic Editor — Elena V. Tikhonova.  
Issue Editor — Marina A. Ivanova.  
Executive Secretary — Marina A. Kosycheva.

The Journal is registered by the Federal Service for Supervision in the Sphere of Communication, Information Technologies and Mass Media. The Mass Media Registration Certificate PI No FS77-71128 dated September 22, 2017.

The Journal is included in the «List of Russian peer-reviewed scientific journals in which the main scientific results of dissertations for the academic degrees of a doctor and candidate of sciences should be published» according to the groups of specialties:

- 4.3.5. Biotechnology of food and biologically active substances (technical sciences) — from 01.02.2022
- 4.1.4. Gardening, vegetable growing, viticulture and medicinal crops (biological sciences) — from 15.02.2023
- 4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops (technical sciences) — from 15.02.2023
- 4.1.4. Horticulture, vegetable growing, viticulture and medicinal crops agricultural sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.1. Technologies, machinery and equipment for the agro-industrial complex (agricultural sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.3. Food systems (biological sciences) — from 15.02.2023
- 4.3.3. Food systems (technical sciences) — from 15.02.2023
- 2.3.3. Automation and control of technological processes and productions (technical sciences) — from 15.02.2023

**EDITORIAL CONTACTS:**

11 Volokolamskoe Highway, Moscow, 125080, Russian Federation  
Tel. +7 (499) 750-01-11\*6585

E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Founder website: <https://www.mgupp.ru>Journal website: <https://www.spfp-mgupp.ru>

Printed by LLC “Prospect Publishing House”  
121471, Moscow, Ryabinovaya Street, 51-A, Bldg. 1.

Format 60×84 1/8. Seal offset. Offset paper. 100 copies.  
Signed in print 30.12.2023. Free price.

© Russian Biotechnological University (BIOTECH University), 2024

## **ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**

**ДАНИЛЬЧУК ТАТЬЯНА НИКОЛАЕВНА** – доктор технических наук, директор института прикладной биотехнологии имени академика РАН И.А. Рогова, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация

## **Члены редакционной коллегии:**

<b>Аксёнова</b> Лариса Михайловна	доктор технических наук, профессор, академик РАН, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Акулич</b> Александр Васильевич	доктор технических наук, профессор, заслуженный изобретатель Республики Беларусь, Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий, г. Могилев, Республика Беларусь
<b>Аль-Наддаф</b> Лина	PhD (биотехнология и молекулярная биология), Университет Аль-Баас, г. Хомс, Сирийская Арабская Республика
<b>Андреев</b> Николай Руфеевич	доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт крахмалопродуктов – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Баскаков</b> Иван Васильевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Боронтов</b> Олег Константинович	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы им. А.Л. Мазлумова, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Гинс</b> Мурат Сабирович	доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, Федеральный научный центр овощеводства, г. Москва, Российская Федерация
<b>Горлов</b> Иван Федорович	доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН, Поволжский НИИ производства и переработки мясомолочной продукции, г. Волгоград, Российская Федерация
<b>Гудковский</b> Владимир Александрович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор академик РАН, Федеральный научный центр им. И.В. Мичурина, г. Мичуринск, Российская Федерация
<b>Донник</b> Ирина Михайловна	доктор биологических наук, профессор, академик РАН, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», г. Москва, Российская Федерация
<b>Ильина</b> Ирина Анатольевна	доктор технических наук, Северокавказский зональный научно-исследовательский институт садоводства и виноградарства, г. Краснодар, Российская Федерация
<b>Калашникова</b> Елена Анатольевна	доктор биологических наук, профессор, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
<b>Коденцова</b> Вера Митрофановна	доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник, Федеральный исследовательский центра питания и биотехнологий, г. Москва, Российская Федерация
<b>Копусь</b> Михаил Мефодьевич	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Аграрный научный центр «Донской», Центр фундаментальных научных исследований, г. Зерноград, Российская Федерация
<b>Короткий</b> Игорь Алексеевич	доктор технических наук, профессор, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация
<b>Косован</b> Анатолий Павлович	доктор экономических наук, академик РАН, НИИ хлебопекарной промышленности, г. Москва, Российская Федерация
<b>Красуля</b> Ольга Николаевна	доктор технических наук, профессор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
<b>Кульниева</b> Надежда Григорьевна	доктор технических наук, профессор, Воронежский государственный университет инженерных технологий, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Левшин</b> Александр Григорьевич	доктор технических наук, профессор, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
<b>Лисицын</b> Александр Николаевич	доктор технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт жиров, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
<b>Лисицын</b> Андрей Борисович	доктор технических наук, академик РАН, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Мелешкина</b> Елена Павловна	доктор технических наук, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Неверов</b> Евгений Николаевич	доктор технических наук, профессор, Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация
<b>Никитюк</b> Дмитрий Борисович	доктор медицинских наук, член-корреспондент РАН, профессор, Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация

<b>Никифоров-Никишин</b> Алексей Львович	доктор биологических наук, профессор, Московский государственный университет технологий и управления им. К.Г. Разумовского, г. Москва, Российская Федерация
<b>Оганесянц</b> Лев Арсенович	доктор технических наук, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Ожерельев</b> Виктор Николаевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Брянский государственный аграрный университет, г. Брянск, Российская Федерация
<b>Оробинский</b> Владимир Иванович	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Пасынкова</b> Елена Николаевна	доктор биологических наук, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха, филиал Ленинградского научно-исследовательского института сельского хозяйства «Белогорка», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
<b>Панфилов</b> Виктор Александрович	доктор технических наук, академик РАН, РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Российская Федерация
<b>Петров</b> Андрей Николаевич	доктор технических наук, академик РАН, Всероссийский научно-исследовательский институт технологии консервирования – филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, г. Москва, Российская Федерация
<b>Подвигина</b> Ольга Анатольевна	доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Ражабов</b> Тошпулут Файзуллоевич	PhD, Самаркандинский государственный университет имени Шарофа Раширова, г. Самарканд, Республика Узбекистан
<b>Савина</b> Ольга Васильевна	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Рязанский государственный агротехнологический университет имени П.А. Костычева, г. Рязань, Российская Федерация
<b>Сагян</b> Ашот Серобович	академик, доктор химических наук, профессор, президент, Национальная Академия наук, Республика Армения
<b>Симоненко</b> Сергей Владимирович	доктор технических наук, Научно-исследовательский институт детского питания – филиал Федерального исследовательского центра питания и биотехнологии, г. Истра, Российская Федерация
<b>Титов</b> Евгений Иванович	доктор технических наук, академик РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
<b>Тихомирова</b> Наталья Александровна	доктор технических наук, профессор, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
<b>Тужилкин</b> Вячеслав Иванович	доктор технических наук, член-корреспондент РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
<b>Тутельян</b> Виктор Александрович	доктор медицинских наук, академик РАН, профессор, Федеральный исследовательский центр питания и биотехнологии, г. Москва, Российская Федерация
<b>Ульрих</b> Наташа Поклар	PhD (биохимия), профессор, Университет Любляны, г. Любляна, Словения
<b>Уша</b> Борис Вениаминович	доктор ветеринарных наук, академик РАН, Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация
<b>Шингисов</b> Азрет Утебаевич	доктор технических наук, профессор, член-корреспондент Академии естественных наук РФ, Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан

## **EDITOR-IN-CHIEF**

**TATIANA N. DANILCHUK** – Doctor of Science (Engineering), Director of the Institute of Applied Biotechnology named after academician I.A. Rogov, Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russian Federation

## **Members of the Editorial Board:**

<b>Larisa M. Aksyonova</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbatov, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
<b>Alexander V. Akulich</b>	Doctor of Science (Engineering), Honoured Inventor of the Republic of Belarus, Professor, Belarusian State University of Food and Chemical Technologies, Mogilev, Republic of Belarus
<b>Lina Alnaddaf</b>	PhD in Biotechnology and Molecular Biology, Albaath University, Homs, Syrian Arab Republic
<b>Nikolay R. Andreev</b>	Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research institute of Starch — Branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbatov, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
<b>Ivan V. Baskakov</b>	Doctor of Science (Agriculture), Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russian Federation
<b>Oleg K. Borontov</b>	Doctor of Science (Agriculture), Leading Researcher, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh, Russian Federation
<b>Murat S. Gins</b>	Doctor of Science (Biology), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre for Vegetable Growing, Moscow Region, Russian Federation
<b>Ivan F. Gorlov</b>	Doctor of Science (Agriculture), Academician of the Russian Academy of Sciences, Povolzhskiy Research Institute of Production and Processing of Meat and Dairy Products, Volgograd, Russian Federation
<b>Vladimir A. Gudkovskiy</b>	Doctor of Science (Agriculture), Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre named after I.V. Michurin, Michurinsk, Russian Federation
<b>Irina M. Donnik</b>	Doctor of Science (Biology), Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, National Research Institute "Kurchatov Institut", Moscow, Russian Federation
<b>Irina A. Ilina</b>	Doctor of Science (Engineering), North Caucasian Federal Research Centre of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russian Federation
<b>Elena A. Kalashnikova</b>	Doctor of Science (Biology), Professor, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
<b>Vera M. Kodentsova</b>	Doctor of Science (Biology), Professor, Leading Researcher, Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation
<b>Mikhail M. Kopus</b>	Doctor of Science (Biology), Leading Researcher, Agrarian Research Centre "Donskoy", Centre for Fundamental Scientific Research, Zernograd, Russian Federation
<b>Igor A. Korotkiy</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation
<b>Anatoliy P. Kosovan</b>	Doctor of Science (Economics), Academician of the Russian Academy of Sciences, State Research Institute of Baking Industry, Moscow, Russian Federation
<b>Olga N. Krasulya</b>	Doctor of Science (Engineering), Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
<b>Nadezhda G. Kulneva</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, Russian Federation
<b>Alexander G. Levshin</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
<b>Aleksander N. Lisitsyn</b>	Doctor of Science (Engineering), All-Russian Research Institute of Fats, St. Petersburg, Russian Federation
<b>Andrey B. Lisitsyn</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbatov of the Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation
<b>Elena P. Meleshkina</b>	Doctor of Science (Engineering), All-Russian Research Institute of Grain and Products of Its Processing — Branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbatov, Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation
<b>Eugeniy N. Neverov</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation
<b>Dmitry B. Nikityuk</b>	Doctor of Medicine, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation

<b>Aleksey L. Nikiforov-Nikishin</b>	Doctor of Science (Biology), Professor, Razumovsky Moscow State University of Food Production, Russian Federation
<b>Lev A. Oganesyants</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industries – branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbato, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
<b>Viktor N. Ozherelev</b>	Doctor of Science (Agriculture), Professor of Bryansk State Agricultural University, Bryansk, Russian Federation
<b>Vladimir I. Orbinsky</b>	Doctor of Science (Agriculture), Professor, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russian Federation
<b>Elena N. Pasynkova</b>	Doctor of Science (Biology), Federal Research Centre for Potato named after A.I. A.G. Lorkha, branch of the Leningrad Research Institute of Agriculture «Belogork», St. Petersburg, Russian Federation
<b>Viktor A. Panfilov</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian State Agrarian University-Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russian Federation
<b>Andrey N. Petrov</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, All-Russian Research Institute of Technology Canning – Branch of the Federal Research Centre of Food Systems named after V.M. Gorbato, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation
<b>Olga A. Podvigina</b>	Doctor of Science (Agriculture), Leading Researcher, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh, Russian Federation
<b>Toshpulot F. Rajabov</b>	PhD, Sharof Rashidov Samarkand State University, Samarkand, Uzbekistan
<b>Olga V. Savina</b>	Doctor of Science (Agriculture), Professor, Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev, Ryazan, Russian Federation
<b>Ashot S. Saghyan</b>	Academician, Doctor of Chemistry, Professor, National Academy of Sciences, Republic of Armenia
<b>Sergey V. Simonenko</b>	Doctor of Science (Engineering), Research Institute of Baby Nutrition – branch of the Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Istra, Russian Federation
<b>Evgeny I. Titov</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russia Russian Federation
<b>Natalia A. Tikhomirova</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
<b>Vyacheslav I. Tuzhilkin</b>	Doctor of Science (Engineering), Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
<b>Victor A. Tutelyan</b>	Doctor of Medicine, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Moscow, Russian Federation
<b>Natasa Poklar Ulrich</b>	PhD, Professor of Biochemistry, University of Ljubljana, Ljubljana, Slovenia
<b>Boris V. Usha</b>	Doctor of Science (Veterinary), Academician of the Russian Academy of Sciences, Russian Biotechnological University, Moscow, Russian Federation
<b>Azret U. Shingisov</b>	Doctor of Engineering, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Auezov University, Shymkent, Republic of Kazakhstan

# СОДЕРЖАНИЕ

## ОТ РЕДАКТОРА

### **Е. В. Тихонова**

Эффективные стратегии написания научных статей: конструирование целеполагания и исследовательских вопросов ..... 8

### **В. И. Воробьев, О. П. Чернега, Е. В. Нижникова**

Применение рыбных коллагенсодержащих добавок в составе панировочных смесей ..... 25

### **К. Н. Нициевская, С. В. Станкевич, Е. В. Бородай, В. Б. Мазалевский**

Исследование свойств гуаровой камеди после ультразвукового воздействия при различной кислотности водных растворов ..... 37

### **О. Ю. Калужина, С. А. Леонова, Е. А. Кузнецова, Р. Р. Латыпова**

Разработка способа получения нового штамма дрожжей для спиртовой промышленности ..... 51

### **Н. М. Агеева, А. А. Ширшова, А. А. Храпов, Е. В. Ульяновская, Е. А. Чернуцкая, Ю. Ф. Якуба**

Ароматобразующие компоненты сидров, произведенных из различных сортов яблони ..... 67

### **С. Н. Кидяев, Е. В. Литвинова, И. А. Кашеварова, Т. Н. Данильчук**

Квалиметрическая оценка антиоксидантной активности пищевых антиокислителей в мясных системах ..... 79

### **О. И. Андреева, И. А. Шорсткий**

Интенсификация вакуум-сублимационной сушки плодов калины за счет предварительной обработки низкотемпературной плазмой ..... 89

### **О. В. Голуб, О. К. Мотовилов, Н. В. Мотовилова, Н. И. Давыденко**

Стабильность при хранении полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника ..... 99

### **Л. З. Габдукаева**

Разработка технологии мучных кондитерских изделий, обогащенных эссенциальными нутриентами ..... 116

### **В. А. Гудковский, Л. В. Кожина, Ю. Б. Назаров, А. В. Сутормина**

Комплекс технологий для длительного хранения плодов яблок сорта Гала ..... 133

# CONTENT

## EDITORIAL

### **Elena V. Tikhonova**

Effective strategies for writing research articles: Constructing strong purpose and research questions ..... 8

### **Viktor I. Vorobyev, Olga P. Chernega, Elena V. Nizhnikova**

Application of fish collagen-containing additives in breading mixtures ..... 25

### **Kseniya N. Nitsievskaya, Svetlana V. Stankevich, Elena V. Boroday, Viktor B. Mazalevskiy**

Investigation of the properties of guar gum after ultrasonic exposure at different acidity of aqueous solutions ..... 37

### **Olesya Y. Kaluzhina, Svetlana A. Leonova, Elena A. Kuznetsova, Ruzalina R. Latypova**

Development of a method for obtaining a new yeast strain for the alcohol industry ..... 51

### **Natalia M. Ageyeva, Anastasia A. Shirshova, Anton A. Khrapov, Elena V. Ulyanovskaya,**

**Evgenia A. Chernutskaya, Yury F. Yakuba**

Aroma-forming components of ciders produced from different apple varieties ..... 67

### **Sergey N. Kidayev, Elena V. Litvinova, Irina A. Kashevarova, Tatjana N. Danilchuk**

Qualimetric assessment of the antioxidant activity of food antioxidants in meat systems ..... 79

### **Oksana I. Andreeva, Ivan A. Shorstky**

The intensification of vacuum freeze drying of viburnum fruits utilizing low-temperature plasma pre-treatment ..... 89

### **Olga V. Golub, Oleg K. Motovilov, Natalya V. Motovilova, Natalia I. Davydenko**

Shelf stability of semi-finished purees from gooseberry berries ..... 99

### **Liliya Z. Gabdukaeva**

Development of technology for flour confectionery products enriched with essential nutrients ..... 116

### **Vladimir A. Gudkovskiy, Lyudmila V. Kozhina, Yuri B. Nazarov, Alena V. Sutormina**

Complex of technologies for long-term storage of gala apples ..... 133

# Эффективные стратегии написания научных статей: конструирование целеполагания и исследовательских вопросов

Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, г. Москва, Российская Федерация

Е. В. Тихонова

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**  
Елена Викторовна Викторовна  
E-mail: tikhonova\_ev@pfur.ru

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**  
Тихонова, Е.В. (2024). Эффективные стратегии написания научных статей: конструирование целеполагания и исследовательских вопросов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(2), 8–24.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.579>

**ПОСТУПИЛА:** 15.05.2024  
**ДОРАБОТАНА:** 10.06.2024  
**ПРИНЯТА:** 15.06.2024  
**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.06.2024

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**  
автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Эффективное определение целей и формулирование исследовательских вопросов, задач и гипотез являются ключевыми факторами, определяющими успех публикации научной статьи. Однако, рецензенты часто отмечают неудачные стратегии авторов при разработке этих компонентов рукописи.

**Цель:** Данная редакционная статья направлена на исследование ключевых аспектов формулирования целей, исследовательских вопросов, задач и гипотез для эмпирических исследований с целью содействия авторам рукописей в разработке четких и обоснованных исследовательских целей.

**Результаты:** В статье подчеркивается значимость ясности и конкретности формулировок для обеспечения фокуса и эффективности исследования. Рассматриваются типичные ошибки, допущенные при формулировке целей и задач, и предлагаются примеры их исправления. В качестве иллюстрации приведены улучшенные варианты формулировок целей, задач, исследовательских вопросов и гипотез. Также обсуждаются стратегии избегания общих формулировок и необходимость обоснования значимости исследования для читателя. Представленная пошаговая схема направлена на помощь исследователям в разработке четких и обоснованных целей и задач, что способствует успешному проведению исследований и получению значимых результатов.

**Выводы:** Эффективное формулирование целей, задач, исследовательских вопросов и гипотез играет решающую роль в успешном проведении эмпирического исследования. Правильный подход к разработке этих компонентов позволяет избежать типичных ошибок, улучшить фокусировку исследования и способствовать достижению значимых и релевантных результатов. Представленные в статье рекомендации помогут исследователям создать более структурированные и обоснованные исследования, что увеличит их шансы на успешную публикацию и признание в научном сообществе.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

цели исследования; исследовательские вопросы; задачи исследования; гипотезы; эффективные стратегии конструирования целеполагания

# Effective Strategies for Writing Research Articles: Constructing Strong Purpose and Research Questions

Peoples' Friendship University of Russia  
named after Patrice Lumumba, Moscow,  
Russian Federation

Elena V. Tikhonova

**CORRESPONDENCE:**

Elena V. Tikhonova

E-mail: tikhonova\_ev@pfur.ru

**FOR CITATIONS:**

Tikhonova, E. (2024). Effective strategies for writing research articles: Constructing strong Purpose and research questions. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 8–24.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.579>

**RECEIVED:** 15.05.2024

**REVISED:** 10.06.2024

**ACCEPTED:** 15.06.2024

**PUBLISHED:** 30.06.2024

**DECLARATION OF COMPETING**

**INTEREST:** none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** Effectively defining objectives and formulating research questions, tasks, and hypotheses are key factors determining the success of a research article publication. However, reviewers often note unsuccessful strategies employed by authors in developing these components of the manuscript.

**Purpose:** This article aims to explore the key aspects of formulating objectives, research questions, tasks, and hypotheses for empirical research to assist manuscript authors in developing clear and well-founded research objectives.

**Results:** The article emphasizes the importance of clarity and specificity in formulations to ensure the focus and effectiveness of the research. Common mistakes made when formulating objectives and tasks are discussed, and examples of their correction are provided. Improved versions of formulating objectives, tasks, research questions, and hypotheses are illustrated. Strategies for avoiding general formulations and the necessity of justifying the significance of the research to the reader are also discussed. The presented step-by-step scheme aims to assist researchers in developing clear and well-founded objectives and tasks, which contributes to successful research and obtaining meaningful results.

**Conclusion:** Effective formulation of objectives, tasks, research questions, and hypotheses plays a crucial role in the successful conduct of empirical research. A proper approach to developing these components helps avoid common mistakes, improve research focus, and contribute to achieving significant and relevant results. The recommendations presented in the article will help researchers create more structured and well-founded studies, increasing their chances of successful publication and recognition in the scientific community.

## KEYWORDS

research objectives; research questions; research tasks; hypotheses; effective strategies for constructing objectives

## ВВЕДЕНИЕ

Эффективное формулирование целей, задач, исследовательских вопросов и гипотез играет ключевую роль в успешном проведении эмпирического исследования. Недостаточная ясность или неправильная постановка этих элементов часто приводит к недостаткам в дизайне исследования, что может повлиять на его результаты и снизить вероятность успешной публикации. Несмотря на важность эффективного и лаконичного целеполагания, многие авторы при его формулировании допускают ошибки, которые подрывают значимость и научную ценность их исследования (Zhang, 2014).

Часто встречаются примеры неудачных формулировок. Например, цель исследования может быть сформулирована слишком общими словами: «Улучшить хранение сельскохозяйственных продуктов». Такая цель не дает ясного понимания, какие конкретные аспекты хранения будут исследоваться. Более того, задачи исследования могут быть слишком узкими или неопределенными: «Измерить уровень влажности пшеницы». Такая формулировка не уточняет условий измерения или критерии оценки.

Исследовательские вопросы и гипотезы также нередко формулируются некорректно. Вопросы могут быть слишком общими или не конкретизировать ожидаемые результаты: «Как хранение влияет на качество пшеницы?». Гипотезы могут быть непроверяемыми или недостаточно конкретными: «Хранение при определенных условиях улучшит качество пшеницы».

Нередко цели, задачи, вопросы, гипотезы и методы исследования не коррелируют друг с другом. Например, цель может быть направлена на изучение одного аспекта, тогда как задачи и методы исследования фокусируются на совершенно других аспектах. Это приводит к получению данных, которые не позволяют ответить на поставленные вопросы или достичь целей исследования (Ratan et al., 2019).

Существенной проблемой является и использование избыточной и неточной лексики, при формировании цели исследования и исследовательских вопросов. Неконкретность в репрезентации информации не позволяет читателям в полной мере понять мотивацию авторов к проведению исследо-

вания и корректно расставить акценты в восприятии его результатов (Tikhonova & Mezentseva, 2024).

Мотивацией для написания данной статьи стало стремление помочь исследователям избежать типичных ошибок при формулировании целей, задач, вопросов и гипотез. Представленные в статье стратегии и примеры базируются на анализе существующих исследований и рекомендаций ведущих методологов. Цель данной статьи заключается в исследовании и анализе ключевых аспектов эффективного формулирования целей, задач, исследовательских вопросов и гипотез в эмпирическом исследовании. В частности, статья направлена на:

- (1) Определение распространенных ошибок при формулировании исследовательских компонентов, таких как цели, задачи, вопросы и гипотезы.
- (2) Предоставление практических рекомендаций по улучшению формулировок.
- (3) Разработку структурированной схемы для обеспечения согласованности целей, задач, вопросов и методов исследования.
- (4) Обоснование важности ясного и конкретного целеполагания для повышения качества и значимости эмпирических исследований.

Следуя предложенным рекомендациям и примерам, исследователи смогут создавать более структурированные и обоснованные научные работы, что увеличит их шансы на успешную публикацию и признание в научном сообществе.

### Значимость корректного формулирования цели исследования

Корректно сформулированные цели и вопросы являются залогом успешного проведения исследования и демонстрации его значимости для научного сообщества, способствуя:

- (1) Демонстрации направление исследования: четко сформулированные цели и задачи позволяют задать конкретное направление для исследования, обеспечивая его фокусировку на определенной теме или проблеме. Это помогает избежать излишней широты или размытости и гарантирует, что исследование останется актуальным и значимым.
- (2) Оптимизации дизайна исследования: цели и задачи помогают направить дизайн и мето-

- дологии исследования, обеспечивая его соответствие поставленным вопросам и достижение поставленных целей.
- (3) Рациональному распределению ресурсов: четкая координация временных, финансовых и человеческих ресурсов позволяет максимизировать эффективность и продуктивность исследования. Последнее невозможно в условиях «размытого целеполагания»
- (4) Оценке потенциальной эффективности проведенного исследования: ясно сформулированные цели и исследовательские вопросы позволяют предвидеть потенциальное влияние полученных результатов на развитие общества и научного знания. Прозрачность целеполагания позволяет оперативно определить, достигнуты ли цели исследования и отвечаены ли заявленные исследовательские вопросы, что помогает выявить области, требующие дополнительного внимания или корректировки.
- (5) Улучшению коммуникации: четкие цели и задачи способствуют улучшению коммуникации между членами исследовательской группы, заинтересованными сторонами, финансовыми организациями и другими участниками проекта. Это гарантирует, что все участники и заинтересованные стороны работают над достижением единой цели.

### **Цель, исследовательский вопрос, задача исследования и гипотеза: общее и особенное**

Целеполагание является одним из ключевых элементов любого исследовательского проекта. Чтобы добиться успеха в исследовании, необходимо четко определить цель, исследовательские вопросы, задачи и гипотезу. Эти элементы тесно связаны между собой, но каждый из них имеет свое уникальное значение и выполняет определенную функцию. Рассмотрим их различия на примере исследования по хранению и переработке сельскохозяйственного сырья.

#### **Цель исследования**

Цель исследования — это основная задача или главная цель проекта. Она обычно формулируется кратко и лаконично, описывая общую направленность исследования. Цель является широким и вступи-

тельным утверждением, которое задает тон всему исследованию.

#### **Пример**

*Цель: Изучить факторы, влияющие на эффективность хранения пшеницы на складах.*

Цель в данном примере описывает общий вопрос, который исследование намеревается изучить, и служит основой для более конкретных исследовательских вопросов и задач. Инструкции по формулированию цели эмпирического исследования представлены в Приложении 1.

#### **Исследовательские вопросы**

Исследовательские вопросы — это конкретные вопросы, на которые исследование стремится ответить. Будучи более узкими и специфичными по сравнению с целью, они помогают четче определить направление исследования. Исследовательские вопросы должны быть ясными и конкретными, чтобы их можно было непосредственно исследовать и измерять.

Характеристики хорошего исследовательского вопроса можно описать акронимом FINERMAPS (Ratan et al., 2019), который расшифровывается как:

- (1) осуществимый (feasible): исследователь должен быть в состоянии выполнить поставленную задачу и на уровне выборки, и на уровне методологии исследования, и с позиций хронотопа, и с позиций наличия финансирования и иных необходимых ресурсов для достижения выводов. Важно уметь соотносить концепции исследовательского вопроса с наблюдениями, явлениями, показателями или переменными, к которым есть доступ;
- (2) интересный (interesting): исследователь призван проявлять подлинный интерес к своему исследовательскому вопросу, что позволит ему эффективно обосновать его с точки зрения интеллектуальной дискуссии;
- (3) новый (novel): исследовательский вопрос не должен просто копировать вопросы, уже исследованные другими, но должен иметь потенциал для изучения. Он может быть направлен на подтверждение или опровержение уже установленных фактов, установление новых фактов или обнаружение новых аспектов уже известных фактов;

- (4) этический (ethical): исследовательский вопрос должен минимизировать риск вреда для участников исследования, защищать их конфиденциальность и право на выход из исследования. Он также не должен требовать фальсификации и неэтичных практик в процессе проведения исследования;
- (5) актуальный (relevant): исследовательский вопрос должен представлять академический и интеллектуальный интерес для потенциальных читателей, вытекая из проблем, поднятых в текущей ситуации, литературе или практике. Например, исследовательский вопрос может быть нацелен на заполнение пробела в знаниях, анализ гипотез или профессиональной практики, мониторинг развития практики, сравнение различных подходов или тестирование теорий на определенной популяции и пр.;
- (6) управляемый (manageable): менеджмент исследования должен быть осуществимым для конкретной исследовательской группы;
- (7) соответствующий (appropriate): исследовательский вопрос должен быть логически и научно обоснованным;
- (8) имеющий потенциальную ценность (potential value) и пригодный для публикации (publishability): любое исследование призвано оказывать прямое влияние на развитие научного знания и социальных практик. Поэтому исследование должно быть направлено на значительное экономическое воздействие для уменьшения ненужных или чрезмерных затрат; должно существовать в клиническом, потребительском или политическом контексте, который открыт для изменений на основе доказательств. Иными словами, эффективный исследовательский вопрос призван затрагивать тему, которая имеет конкретные и очевидные «последствия» для решения важных дилемм в предметной области;
- (9) систематический (systematic): исследовательский вопрос позволяет реализовать структурированное исследование, шаги которого необходимо выполнять в определенной последовательности в соответствии с четко установленным набором правил.

Исследовательский вопрос может иметь разные форматы в зависимости от оцениваемого аспекта,

что позволяет выделить различные типы исследовательских вопросов, связанных с:

- (1) существованием: этот тип вопроса направлен на подтверждение существования конкретного явления или на исключение альтернативных объяснений. Например, *Могут ли ультразвуковые волны уменьшить микробную нагрузку на овощи при хранении?*
- (2) описанием и классификацией. Например, *Какие типы микробных сообществ развиваются на поверхности яблок при длительном хранении?*
- (3) составом: такой тип вопроса требует разбиения целого на компоненты. Например, *Какие этапы включает процесс ферментации винограда для производства вина?*
- (4) взаимоотношениями: оценивается связь между переменными. Например, *Как связаны влажность воздуха в хранилище и скорость порчи зерновых?*
- (5) сравнением: *Являются ли потери питательных веществ при хранении картофеля в подземных хранилищах меньшими, чем в надземных? = В чем сходство и различие между X и Y и почему эти отличия важны?*
- (6) корреляцией: определяется, приводит ли изменение одной переменной к изменению другой. Например, *Приводит ли обработка яблок озоном к увеличению их срока хранения? = Каковы взаимоотношения между переменными X и Y?*
- (7) поиском (в контексте поискового плана исследования): *Что является основными факторами в урожайности пшеницы? Какова роль азотных удобрений в увеличении урожая кукурузы? = Каков основной фактор в X? Какова роль Y в Z?*
- (8) объяснения = выявлением причинности и сравнением (в контексте объяснительного плана исследования): *Влияет ли использование органических удобрений на содержание питательных веществ в овощах? Каково влияние различных методов орошения на рост томатов? Улучшает ли добавление аскорбиновой кислоты в вакуумную упаковку сохранность витаминов в моркови по сравнению с традиционной упаковкой? = Влияет ли X на Y? Каково влияние Y на Z? Каковы причины X?*
- (9) оценкой: *Каковы преимущества и недостатки капельного орошения в сравнении с традиционными методами полива? Насколько хорошо*

*работает система управления вредителями в яблоневых садах? Насколько эффективен или желателен переход на органическое земледелие? = Каковы преимущества и недостатки X? Насколько хорошо работает Y? Насколько эффективен или желателен Z?*

- (10) причинно-сравнительным взаимодействием: исследовательские вопросы этого типа направлены на изучение влияния различных условий на результат. Например, *Приводит ли сочетание использования холодной плазмы и упаковки в модифицированной атмосфере к лучшему сохранению ягод клубники по сравнению с одной только упаковкой в модифицированной атмосфере? = Приводит ли X к большим изменениям в Y по сравнению с Z при определенных условиях и не при других условиях?*

Хороший исследовательский вопрос (1) детализирует формулировку проблемы, (2) описывает и уточняет изучаемый вопрос, (3) фокусирует формулировку проблемы, (4) направляет сбор и анализ данных, (5) определяет контекст исследования (Alvesson & Sandberg, 2011).

Широкий круг исследований указывает на важные компоненты, учет которых необходим для формулирования эффективных исследовательских вопросов (например, Abbott, 2004; Smith & Hitt, 2005; Starbuck, 2006; Van de Ven, 2007). Однако немногие из этих исследований специально сосредоточены на том, как исследователи формируют исследовательские вопросы. Инструкции по формулированию исследовательских вопросов эмпирического исследования представлены в Приложении 2.

Многие исследования содержат более одного исследовательского вопроса. Эксперименты часто исследуют воздействие вмешательства на несколько исходов. Например, первичный вопрос: *Повышает ли использование современных технологий выращивания, таких как гидропоника, урожайность салата-латука? Вторичные вопросы: (1) Как гидропоника влияет на затраты на производство по сравнению с традиционными методами? (2) Влияет ли гидропоника на вкусовые качества и содержание питательных веществ в салате-латуке?*

Преимущество разработки исследования с несколькими исследовательскими вопросами заключается

в эффективности, когда из одного исследования можно получить несколько ответов. Недостатки включают в себя повышенную сложность разработки и реализации исследования, а также сложность статистических выводов при наличии нескольких гипотез. Разумная стратегия заключается в установлении одного основного исследовательского вопроса, вокруг которого будет сосредоточена разработка плана исследования и оценку размера выборки. В случае необходимости формулирования вторичных исследовательских вопросов. Важно, чтобы они находились в жесткой координации с первичным исследовательским вопросом, не был более сложным, нежели первичный исследовательский вопрос и находился в спектре того же типа исследования, что и первичный вопрос (если первичный вопрос связан с поисковым исследованием, то вторичный вопрос не должен требовать объяснительного исследования).

Например, первичный вопрос: *Увеличивает ли использование биологических удобрений урожайность пшеницы? Вторичные вопросы: (1) Как использование биологических удобрений влияет на качество почвы? (2) Влияет ли применение биологических удобрений на устойчивость пшеницы к болезням?*

Ответ на эффективный исследовательский вопрос не может быть представлен в формате «да-нет». Такой вопрос должен являться отправной точкой для дискуссии и ответ не должен быть получен с опорой на простейшие факты, которые легко обнаруживаются посредством самого простого поискового запроса.

### **Задачи исследования**

Задачи исследования представляют собой конкретные действия, которые необходимо выполнить для достижения цели и ответа на исследовательские вопросы. Они должны быть конкретными, измеримыми, достижимыми, релевантными и ограниченными во времени.

### **Пример**

Задача 1: *Измерить изменение уровня влажности пшеницы при хранении при различных температурах.*

Задача 2: *Сравнить эффективность разных типов упаковки в сохранении питательных веществ в пшенице на протяжении 6 месяцев.*

**Задача 3: Оценить эффективность различных методов контроля вредителей в предотвращении порчи пшеницы на складах.**

Задачи исследования помогают организовать исследовательский процесс, обеспечивая его систематичность и последовательность. Они детализируют шаги, которые необходимо предпринять для достижения цели исследования и ответа на исследовательские вопросы.

Инструкции по формулированию исследовательских вопросов эмпирического исследования представлены в Приложении 3.

### **Гипотеза исследования**

Гипотеза исследования — это конкретное предположение о взаимоотношении между двумя или более переменными, которое проверяется в ходе исследования. Она служит ориентиром для проведения экспериментов и анализа данных. Гипотезы часто формулируются в количественных исследованиях и помогают определить, какие данные нужно собрать и как их анализировать. Гипотеза представляет собой преобразование исследовательского вопроса в операционный аналог. Иными словами, формулирует утверждение о том, какое предсказание делается относительно изучаемого явления. Чаще всего для случай-контрольного испытания формируется нулевая гипотеза ( $H_0$ ), которая затем принимается или отвергается.

Сильная гипотеза должна обладать следующими характеристиками:

- (1) Давать представление об исследовательском вопросе.
- (2) Поддаваться проверке и измерению предлагаемыми экспериментами.
- (3) Иметь логическую основу.
- (4) Следовать наиболее вероятному (а не исключительному) исходу.

Например:

- (1)

Исследовательский вопрос: Улучшает ли применение вакуумной упаковки качество хранения свежих овощей?

Гипотеза: Применение вакуумной упаковки улучшает качество хранения свежих овощей. При хранении

свежих овощей в вакуумной упаковке снижается скорость потери влаги и замедляется процесс порчи, что улучшает качество продукта по сравнению с традиционными методами хранения.

(2)

Исследовательский вопрос: Уменьшает ли использование ультразвука время сушки зерновых культур?

Гипотеза: Использование ультразвука уменьшает время сушки зерновых культур. Применение ультразвука при сушке зерновых культур сокращает время, необходимое для достижения оптимальной влажности, по сравнению с традиционными методами сушки, без ухудшения качества зерна.

Инструкции по формулированию гипотез эмпирического исследования представлены в Приложении 4.

### **Взаимосвязь цели исследования, исследовательских вопросов, задач исследования и гипотезы**

Цель исследования задает общий фокус и направление исследования. Исследовательские вопросы уточняют, какие аспекты будут изучены для достижения этой цели. Задачи исследования описывают конкретные шаги, необходимые для ответа на исследовательские вопросы. Гипотеза, если она формулируется, помогает направить сбор и анализ данных, предоставляя конкретное предсказание для проверки (Hulley & Cummings, 2007).

Инструкции по отслеживанию взаимосвязи между формулированием исследовательских вопросов и гипотез эмпирического исследования представлены в Приложении 5.

### **Ошибки в процессе целеполагания и формулирования исследовательских вопросов**

Четкость и точность формулировки целей и задач исследования могут быть снижены по разным причинам. Рассмотрим наиболее распространенные ошибки и способы их избежать.

### **Смешение цели и задач исследования**

Одна из распространенных ошибок — объединение всей информации о цели и задачах исследования

в одном абзаце. Это затрудняет восприятие информации и различие между общей целью исследования и конкретными задачами. Цель и задачи исследования должны быть четко разграничены. Представляйте их в отдельных предложениях или абзацах, и каждую задачу нумеруйте.

**Ошибочный подход:**

*Данное исследование направлено на изучение факторов, влияющих на хранение пшеницы, включая температуру, тип упаковки и методы контроля вредителей.*

**Корректный вариант:**

**Цель:** Изучить факторы, влияющие на эффективность хранения пшеницы на складах.

**Задачи исследования:** (1) Измерить изменение уровня влажности пшеницы при хранении при различных температурах; (2) Сравнить эффективность разных типов упаковки в сохранении питательных веществ в пшенице на протяжении 6 месяцев; (3) Оценить эффективность различных методов контроля вредителей в предотвращении порчи пшеницы на складах.

### **Неясные или двусмысленные формулировки**

Иногда цели или задачи исследования формулируются так, что их значение становится неясным или двусмысленным. Важно, чтобы итоговая формулировка минимизировала возможность недопонимания или неверной интерпретации.

**Ошибочный подход:**

*Данное исследование направлено на изучение хранения пшеницы и: (1) температуры хранения пшеницы, (2) типов упаковки пшеницы, (3) методов контроля вредителей пшеницы.*

**Корректный вариант:**

**Цель:** Изучить факторы, влияющие на эффективность хранения пшеницы на складах.

**Задачи:** (1) Изучить влияние температуры хранения на уровень влажности пшеницы, (2) оценить влияние типа упаковки на сохранность питательных веществ в пшенице, (3) проанализировать эффективность различных методов контроля вредителей в предотвращении порчи пшеницы на складах.

### **Смешение задач и вопросов исследования**

Еще одной распространенной ошибкой является смешение задач и исследовательских вопросов в одном списке. Это может привести к путанице и затруднить понимание. Лучше использовать либо только задачи, либо только исследовательские вопросы.

Пример исследовательских вопросов к цели исследования: *Изучить факторы, влияющие на эффективность хранения пшеницы на складах.*

- (1) Как температура хранения влияет на уровень влажности пшеницы?
- (2) Как тип упаковки влияет на сохранность питательных веществ в пшенице?
- (3) Какие методы контроля вредителей наиболее эффективны для предотвращения порчи пшеницы на складах?

Выбор между задачами и исследовательскими вопросами зависит от типа исследования и его целей. В количественных исследованиях часто используются исследовательские вопросы, так как они помогают сосредоточиться на измеримых аспектах проблемы. В качественных исследованиях могут использоваться задачи, так как они помогают организовать процесс исследования и структурировать действия.

### **Слишком общий и неопределенный фокус**

Использование общих и неясных формулировок может привести к путанице и отсутствию фокуса в исследовании.

Например, цель: *Улучшить хранение сельскохозяйственных продуктов*, не является эффективной, будучи слишком общей. В то время, как ее откорректированный вариант: *Изучить влияние температуры хранения на уровень влажности пшеницы на складах*, является более приемлемым вариантом.

Но и этот вариант можно усилить, включив в целеполагание и причину, по которой цель исследования сформулирована: *Изучить влияние температуры хранения на уровень влажности пшеницы на складах с целью разработки рекомендаций по оптимизации условий хранения для снижения потерь урожая.*

### ***Слишком узкий и специфичный фокус***

Слишком узкие задачи могут ограничить рамки исследования и усложнить выводы.

Например, задача: *Измерить уровень влажности пшеницы при хранении при температуре 22°C, является слишком узкой.*

Откорректированный вариант задачи: *Измерить уровень влажности пшеницы при хранении при различных температурах (10°C, 20°C, 30°C) на протяжении 6 месяцев*, позволяет четче соотносить действия исследователей в процессе реализации исследования с целеполаганием.

### ***Чрезмерная амбициозность***

Реалистично оценивайте свои возможности и ресурсы, чтобы избежать нереалистичных ожиданий.

Например, цель: *Разработать идеальные условия хранения для всех видов сельскохозяйственных продуктов*, является чрезмерно амбициозной. Откорректированный вариант цели: *Разработать рекомендации по оптимальным условиям хранения для пшеницы на основе анализа влияния температуры и влажности.*

### ***Отсутствие взаимосвязи между целью, исследовательскими вопросами и задачами***

Убедитесь, что цели и задачи напрямую связаны с исследовательским вопросом.

Например, цель: *Изучить методы улучшения хранения пшеницы, слабо коррелирует с задачей: Провести маркетинговое исследование по потребностям потребителей.*

Откорректированный вариант взаимосвязанных цели и задачи: *Изучить методы улучшения хранения пшеницы. Задача: Оценить влияние различных методов хранения на сохранение питательных веществ и качество пшеницы.*

Но и этот вариант не является максимально эффективным: не стоит употреблять слишком общие формулировки «различных методов хранения» намного эффективнее было бы указать конкретные методы хранения, что еще больше сфокусировало

бы исследование. Выиграла бы цель и в ситуации ее более полной формулировки — читателю уже на уровне цели лучше понимать — ЗАЧЕМ необходимо изучение методов оптимизации хранения пшеницы.

Пример откорректированной взаимосвязи цели и задачи исследования: *Изучить методы улучшения хранения пшеницы. Задача: Оценить влияние различных методов хранения на сохранение питательных веществ и качество пшеницы.*

Однако, данный вариант остается недостаточно эффективным: использование обобщенных формулировок, таких как «различные методы хранения», снижает фокус исследования. Гораздо эффективнее было бы указать конкретные методы хранения, что значительно улучшило бы фокусировку исследования.

Кроме того, эффективность цели исследования может быть значительно усиlena, если в ней будет отражена причина, по которой проведение данного исследования необходимо.

Например,

Цель: *Изучить влияние холодного хранения, вакуумной упаковки и использования природных консервантов на сохранение питательных веществ и качество пшеницы с целью разработки рекомендаций по улучшению методов хранения для повышения качества и продления срока хранения зерна.*

Задачи: (1) *Оценить изменение уровня питательных веществ в пшенице при хранении в условиях холодного хранения;* (2) *Сравнить эффективность вакуумной упаковки с традиционными методами хранения в сохранении качества пшеницы;* (3) *Исследовать влияние природных консервантов на предотвращение порчи и сохранение питательных веществ в пшенице при длительном хранении.*

Эта формулировка не только уточняет методы, которые будут изучаться, но и обосновывает необходимость исследования, что делает цель и задачи более ясными и направленными.

Исследовательские вопросы, соотносящие с указанной целью могли бы быть такими:

- (1) Как холодное хранение влияет на уровень питательных веществ в пшенице в течение длительного времени?
- (2) Насколько эффективна вакуумная упаковка в сравнении с традиционными методами хранения в сохранении качества пшеницы?
- (3) Как использование природных консервантов влияет на предотвращение порчи и сохранение питательных веществ в пшенице при длительном хранении?

Возможные гипотезы:

Гипотеза 1: Холодное хранение приведет к меньшим потерям питательных веществ в пшенице по сравнению с хранением при комнатной температуре.

Гипотеза 2: Вакуумная упаковка будет более эффективной в сохранении качества пшеницы в сравнении с традиционными методами хранения.

Гипотеза 3: Природные консерванты окажут положительное влияние на предотвращение порчи и сохранение питательных веществ в пшенице при длительном хранении.

#### Отражение этики в формулировках

Не учитывая этические вопросы, связанные с проведением исследования, авторы исследования могут сместить фокус исследования.

Например, цель: *Изучить влияние химических консервантов на качество пшеницы, не учитывает возможные негативные последствия для здоровья потребителей.*

Откорректированный вариант цели: *Изучить влияние природных и безопасных консервантов на качество и безопасность пшеницы при хранении.*

#### Связь цели исследования с дизайном исследования

Понимание целей и вопросов исследования помогает принимать важные решения о дизайне и проведении проекта. Последний включает в себя выбор популяций или демографических групп для включения в исследование и выбор методов сбора данных. В некоторых неэффективно спланированных исследованиях выбранные методы исследования не соответствуют целям исследования. В результате полученные данные часто не отвечают непосредственно на поставленные исследовательские вопросы. Важно тщательно обдумать связь между целями исследования и выбором методов (Jones, 2013). Стремитесь как можно более четко описать, как методы выборки, сбора данных и анализа помогут достичь каждой из целей или ответить на исследовательские вопросы. Пример отслеживания взаимосвязей представлен в Таблица 1.

Таблица 1

Отслеживание связи цели исследования с выбором методов сбора данных и анализа

Цель исследования	Выборка	Метод сбора данных	Примеры вопросов
1. Измерить уровень влажности пшеницы при хранении при различных температурах (10 °C, 20 °C, 30 °C)	Образцы пшеницы, хранящиеся при различных температурах	Лабораторные измерения уровня влажности пшеницы при различных температурах хранения	Как меняется влажность пшеницы при хранении при 10 °C, 20 °C и 30 °C?
2. Сравнить изменения влажности пшеницы при этих температурах в течение 6 месяцев	Образцы пшеницы, хранящиеся в течение 6 месяцев	Периодические лабораторные измерения через 1, 3 и 6 месяцев.	Какие изменения влажности наблюдаются в пшенице через 1, 3 и 6 месяцев хранения при различных температурах?
3. Оценить влияние температуры на сохранение качества пшеницы в долгосрочном хранении	Образцы пшеницы, хранящиеся при различных температурах в течение 6 месяцев	Лабораторные анализы качества, включая сенсорные тесты	Как температура хранения влияет на питательные вещества, вкус и текстуру пшеницы через 6 месяцев хранения?

## Пошаговая схема формулирования целей, задач, вопросов исследования и гипотез

### (1) Определение исследовательского вопроса.

Исследовательский вопрос задает направление и рамки исследования. Он помогает сосредоточиться на конкретной проблеме, которая будет решаться в ходе исследования. Определение четкого и конкретного вопроса предотвращает размытость и распыление усилий, что особенно важно для достижения значимых и релевантных результатов.

*Как температура хранения влияет на уровень влажности пшеницы?*

Избегайте субъективных слов, таких как «хороший», «плохой», «лучше» и «уже», так как они не дают четких критериев для ответа на вопрос. Если ваш вопрос оценивает что-то, используйте термины с более измеряемыми определениями.

- Насколько эффективна политика X или Y?
- Насколько сильно политика X и Y снижает показатели Z?

Не спрашивайте «Почему?». Вопросы типа «Почему» обычно (хотя и не всегда) слишком широки, чтобы служить хорошими исследовательскими вопросами. Часто существует так много возможных причин, что исследовательский проект не может дать исчерпывающий ответ. Лучше вместо «Почему?» задавать вопросы «Что?» или «Как?».

- Как возник X?
- Какие основные факторы способствуют X?
- Как X страдает от Y?

**(2) Проведение обзора литературы.** Обзор литературы позволяет понять текущий уровень знаний по теме, выявить ключевые концепции, методы и теории. Это помогает определить конкретные пробелы в знаниях (Тихонова, 2024), которые ваше исследование может заполнить, и избежать повторения уже проведенных исследований. Это также обеспечивает обоснованность и контекст для исследования.

*Обзор существующих исследований по влиянию температуры на хранение пшеницы.*

**(3) Формулирование цели исследования.** Цель исследования должна четко и ясно описывать основную задачу. Она направляет исследовательские

усилия и служит основой для разработки конкретных задач. Формулировка цели должна быть конкретной, чтобы избежать неоднозначности и расплывчатости.

*Изучить влияние температуры хранения на уровень влажности пшеницы на складах.*

### (4) Формулирование исследовательских задач.

Задачи исследования конкретизируют шаги, которые необходимо предпринять для достижения цели. Они должны быть измеримыми, достижимыми и релевантными. Четкие задачи помогают организовать процесс исследования и обеспечивают возможность проверки гипотез.

*Измерить уровень влажности пшеницы при хранении при различных температурах (10 °C, 20 °C, 30 °C).*

*Сравнить изменения влажности пшеницы при этих температурах в течение 6 месяцев.*

*Оценить влияние температуры на сохранение качества пшеницы в долгосрочном хранении.*

**Формулирование гипотезы.** Гипотеза представляет собой предположение, которое можно проверить в ходе исследования. Она помогает направить сбор и анализ данных и служит основой для проверки теоретических положений. Формулировка гипотезы делает исследование целенаправленным и систематичным.

*Повышение температуры хранения приведет к увеличению уровня влажности пшеницы.*

**Убедитесь в согласованности целей, задач и вопросов.** Важно убедиться, что цели, задачи и исследовательские вопросы взаимосвязаны и направлены на решение одной и той же проблемы. Это обеспечивает целостность и последовательность исследования, предотвращая возможные противоречия и расхождения.

*Все элементы исследования направлены на изучение влияния температуры на влажность пшеницы.*

**Рецензирование и доработка.** Рецензирование и доработка помогают улучшить качество формулировок целей, задач, вопросов и гипотез. Обратная связь от коллег и экспертов позволяет выявить слабые места и уточнить исследование.

бые места и устраниТЬ их до начала исследования. Это повышает вероятность успешного проведения исследования и получения значимых результатов.

*Получение обратной связи от коллег для улучшения формулировок.*

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Формулирование целей, исследовательских вопросов, задач и гипотез является основой успешного эмпирического исследования. В данной статье рассмотрены ключевые аспекты этой задачи и предложены способы улучшения формулировок на примере хранения пшеницы. Демонстрация перехода от общих формулировок к точным и эффективным подчеркивает важность каждого этапа процесса.

Следование структурированной схеме, включающей определение исследовательского вопроса, обзор литературы, формулирование цели и задач, разработку

гипотез, проверку их согласованности и рецензирование, обеспечивает систематичный подход к исследованию. Это позволяет избежать распространенных ошибок и улучшить фокус и продуктивность работы.

Создание таблицы, связывающей цели с методами сбора и анализа данных, подтверждает, что выбранные методы действительно отвечают исследовательским вопросам и целям. Это способствует получению значимых данных, необходимых для обоснованных выводов.

Следуя этим рекомендациям, исследователи смогут разрабатывать более структурированные и обоснованные исследования, что увеличит их шансы на успешную публикацию и признание в научном сообществе. Ясные и конкретные формулировки целей и задач не только повышают качество работы, но и способствуют достижению значимых результатов, которые могут внести вклад в развитие научных знаний и практических применений.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Тихонова, Е. В. (2024). Эффективные стратегии написания научных статей: обоснование проблемы в существующем знании в предметной области. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(1), 8–16. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.561>
- Tikhonova, E. (2024). Effective strategies for writing scientific papers: Justifying the gap in existing knowledge in the subject area. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(1), 8–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.1.561>
- Abbott, A. (2004). *Methods of discovery: Heuristics for the social sciences*. New York: Norton
- Alvesson, M., & Sandberg, J. (2011). Generating research questions through problematization. *Academy of Management Review*, 36(2), 247–71.
- Hulley, S.B., & Cummings, S.R. (2007). Conceiving the research question. In S.B. Hulley, S.R. Cummings, W.S. Browner, D. Grady, N. Hearst, & T.B. Newman (Eds). *Designing clinical research* (pp. 17–25). Baltimore: Williams & Wilkins.
- Jones, R. (2013). How to read and appraise a research paper. *InnovAiT*, 6(2), 103–107. <https://doi.org/10.1177/1755738012467338>
- Ratan, S. K., Anand, T., & Ratan, J. (2019). Formulation of research question — Stepwise approach. *Journal of Indian Association of Pediatric Surgeons*, 24(1), 15–20. [https://doi.org/10.4103/jiaps.JIAPS\\_76\\_18](https://doi.org/10.4103/jiaps.JIAPS_76_18)
- Smith, K. G., & Hitt, M. A. (Eds.). (2005). *Great minds in management: The process of developing theory*. New York: Oxford University Press.
- Starbuck, W. H. (2006). *The production of knowledge: The challenge of social science research*. Oxford: Oxford University Press.
- Tikhonova, E. V., & Mezentseva, D. A. (2024). Wordiness in academic writing: a systematic scoping review. *Research Result. Theoretical and Applied Linguistics*, 10(1), 133–157. <https://doi.org/10.18413/2313-8912-2024-10-1-0-8>
- Van de Ven, A. H. (2007). *Engaged scholarship. A guide for organizational and social research*. New York: Oxford University Press.
- Zhang W. (2014). Ten simple rules for writing research papers. *PLoS Computational Biology*, 10(1), e1003453. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1003453>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Ключевые моменты, которые необходимо учитывать при формулировке цели исследования

Формулирование цели исследования может варьироваться в зависимости от исследователя, но существуют определенные моменты, которые необходимо учитывать для написания качественной цели:

#### Ответ на вопрос «Почему?»

Цель исследования должна дать ответ на вопрос, почему проводится данное исследование. В одном предложении или фразе необходимо описать, почему важно проводить это исследование. С одной стороны, эту информацию можно обнаружить в представленном во Введении пробеле в знании, который данное исследование призвано заполнить. С другой стороны, если цель сформулирована так, что дает представление об этой информации, читателю будет проще ориентироваться в мотивации авторов к проведению исследования. Это особенно важно еще и потому, что целеполагание будет играть ключевую роль не только на уровне введения, но и при структурировании секций «Результаты», «Обсуждение результатов» и «Заключение».

Формулировка цели: *Влажность пшеницы при хранении является критическим фактором, влияющим на качество и сохранность зерна. Текущие знания о влиянии различных температур на влажность пшеницы ограничены, что создает пробел в понимании оптимальных условий хранения для предотвращения порчи и снижения качества зерна.* Эта формулировка объясняет, почему важно проводить это исследование, указывая на пробел в знаниях, который необходимо заполнить. Так же она показывает значимость изучаемой темы для улучшения практик хранения. Однако такая формулировка не позволяет автору быть уверенными, что все читатели однозначно поймут целеполагание.

#### Ответ на вопрос «Что?»

Главная цель исследования — ответить на вопрос, что исследование намерено достичь. Это основное назначение цели исследования.

Формулировка цели: *Цель данного исследования — изучить влияние температуры хранения на уровень*

*влажности пшеницы на складах.* Эта формулировка четко описывает основную цель исследования, фокусируясь на конкретном аспекте хранения пшеницы — изменении уровня влажности при различных температурах.

#### Ответ на вопрос «Как?»

В одном предложении или нескольких фразах должно быть указано, каким образом планируется достичь этой цели.

Формулировка цели: *Путем измерения уровня влажности пшеницы при различных температурах (10 °C, 20 °C, 30 °C) в течение 6 месяцев и анализа изменений влажности, исследование стремится определить влияние температуры хранения на сохранение качества пшеницы.* Здесь описывается метод достижения цели — измерение и анализ уровня влажности при разных температурах на протяжении определенного времени. Это помогает понять, как именно будет проводиться исследование.

#### Полнота формулировки цели

Необходимо убедиться, что формулировка цели представлена полностью и читатель понимает, для чего эта цель служит. Цель должна быть ясной и лаконичной, описывая, что исследование намерено достичь и почему это важно. Полная формулировка цели объединяет ответы на вопросы «почему», «что», «как» и «зачем». Читатель получает полное представление о важности, фокусе и методах исследования, что улучшает понимание мотивации к проведению исследования и структуры исследования.

Формулировки цели: *Изучить влияние температуры хранения на уровень влажности пшеницы на складах, чтобы определить оптимальные условия для предотвращения порчи и повышения качества зерна. Влажность является критическим фактором, влияющим на сохранность зерна, и текущие знания о влиянии различных температур ограничены. Путем измерения уровня влажности пшеницы при температурах 10 °C, 20 °C и 30 °C в течение 6 месяцев и анализа изменений влажности, исследование стремится предоставить рекомендации для улучшения методов хранения.*

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### Стратегии формулирования исследовательских вопросов

Формулирование исследовательских вопросов является критическим этапом в разработке исследовательского проекта. Эти вопросы направляют исследование и определяют, какие данные необходимо собрать и как их анализировать. Ниже приведены стратегии, которые помогут вам сформулировать эффективные исследовательские вопросы.

#### (1) Начните с широкого контекста и сужьте фокус

Начните с общей области интереса и постепенно сужайте фокус, чтобы сформулировать конкретные исследовательские вопросы.

##### Пример:

Широкий контекст: *Хранение сельскохозяйственных продуктов*.

Суженный фокус: *Влияние температуры на хранение пшеницы*.

Исследовательский вопрос: *Как температура хранения влияет на уровень влажности пшеницы?*

#### (2) Используйте концептуальные рамки

Используйте теории или модели, которые уже существуют в вашей области исследования, чтобы помочь сформулировать вопросы.

##### Пример:

Теория: *Теория сохранности качества продуктов при различных условиях хранения*.

Исследовательский вопрос: *Какие теоретические модели наиболее точно предсказывают влияние температуры на влажность и качество пшеницы при хранении?*

#### (3) Определите ключевые переменные

Определите независимые и зависимые переменные вашего исследования и сформулируйте вопросы, которые отражают их взаимоотношения.

##### Пример:

Независимая переменная: *Температура хранения*.

Зависимая переменная: *Уровень влажности пшеницы*.

Исследовательский вопрос: *Как изменение температуры хранения влияет на уровень влажности пшеницы в течение 6 месяцев?*

#### (4) Используйте формат «Как?», «Почему?», «Что?»

Структурируйте вопросы, используя слова, которые помогут вам сосредоточиться на конкретных аспектах исследования.

##### Пример:

Как: Как температура хранения влияет на уровень влажности пшеницы?

Почему: Почему разные температуры хранения приводят к различным уровням влажности пшеницы?

Что: Что является оптимальной температурой хранения для минимизации уровня влажности пшеницы?

#### (5) Убедитесь в возможности эмпирической проверки

Формулируйте вопросы таким образом, чтобы они могли быть проверены с помощью эмпирических данных.

Пример: Как изменение температуры хранения с 10 °C до 30 °C влияет на уровень влажности пшеницы за 6 месяцев?

#### (6) Сформулируйте вопросы, которые способствуют достижению целей исследования

Убедитесь, что ваши исследовательские вопросы соответствуют общей цели исследования и помогают в её достижении.

##### Пример:

Цель: Изучить влияние температуры хранения на уровень влажности пшеницы.

Исследовательский вопрос: Как разные температуры хранения (10 °C, 20 °C, 30 °C) влияют на уровень влажности пшеницы в течение 6 месяцев?

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Ключевые моменты, которые необходимо учитывать при формулировании задач исследования

Применение метода SMART к задачам исследования позволяет легко оценить их качество. Этот метод включает в себя следующие критерии:

(1) Конкретность: Задачи должны быть сформулированы максимально конкретно, чтобы было понятно, как их достичь. Они не должны быть расплывчатыми.

Пример задачи: *Измерить уровень влажности пшеницы при хранении при различных температурах (10°C, 20°C, 30°C)*. Эта задача четко определяет, что будет измеряться и при каких условиях.

(2) Измеряемость: Задачи должны быть измеримыми, чтобы можно было оценить, насколько они выполнены и сколько работы еще предстоит.

Пример задачи: *Сравнить изменения влажности пшеницы при различных температурах хранения в течение 6 месяцев*. Задача позволяет измерить и сравнить изменения уровня влажности в течение определенного времени.

(3) Достижимость: Задачи должны быть достижимыми, то есть у исследователя должны быть ресурсы для их выполнения.

Пример задачи: *Оценить влияние температуры на сохранение качества пшеницы в долгосрочном хранении*. Задача предполагает использование доступных лабораторных методов для оценки качества зерна.

(4) Релевантность: Задачи должны быть релевантными для достижения цели исследования.

Пример задачи: *Исследовать влияние различных температур на влажность и качество пшеницы для разработки рекомендаций по оптимальному хранению*. Задача напрямую связана с целью исследования — определение оптимальных условий хранения.

(5) Ограниченностю во времени: Задачи должны быть выполнимыми в течение времени, отведенного на исследовательский проект.

Пример задачи: *Провести измерения и анализ данных в течение 6 месяцев для оценки долгосрочных эффектов температуры на влажность пшеницы*. Задача имеет четко определенный временной промежуток, в течение которого будут собираться и анализироваться данные.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

### Стратегии формулирования гипотез

Формулирование гипотез является важным этапом исследовательского процесса, так как гипотезы определяют предполагаемые взаимоотношения между переменными и направляют сбор и анализ данных. Вот несколько стратегий, которые помогут вам сформулировать четкие и обоснованные гипотезы.

#### (1) Основание на теории.

Используйте существующие теории и модели в вашей области исследования, чтобы сформулировать гипотезы, которые можно проверить эмпирически.

#### Пример:

**Теория:** Теория сохранности качества продуктов при различных условиях хранения.

**Гипотеза:** Хранение пшеницы при температуре 10 °C приведет к меньшему уровню влажности по сравнению с хранением при 20 °C и 30 °C.

#### (2) Фокус на взаимоотношениях между переменными.

Определите независимые и зависимые переменные вашего исследования и сформулируйте гипотезы, которые описывают их взаимоотношения.

### Пример:

Независимая переменная: *Температура хранения*.

Зависимая переменная: *Уровень влажности пшеницы*.

Гипотеза: *Снижение температуры хранения с 30 °C до 10 °C приведет к уменьшению уровня влажности пшеницы.*

### (3) Формулирование проверяемых гипотез.

Убедитесь, что гипотезы сформулированы таким образом, что их можно проверить с помощью эмпирических данных.

Пример гипотезы: *Температура хранения 10 °C будет способствовать снижению уровня влажности пшеницы на 15% в течение 6 месяцев.*

### (4) Использование сравнений.

Формулируйте гипотезы, сравнивающие различные условия или группы, чтобы выявить различия или эффекты.

Пример гипотезы: *Пшеница, хранящаяся при 10 °C, будет иметь значительно меньший уровень влажности по сравнению с пшеницей, хранящейся при 30 °C.*

### (5) Ясность и конкретность.

Гипотезы должны быть четкими и конкретными, чтобы избежать неоднозначности и обеспечить ясность в интерпретации результатов.

Пример гипотезы: *Пшеница, хранящаяся при 10 °C, будет иметь уровень влажности ниже 12% через 6 месяцев хранения.*

### (6) Поддержка гипотезы данными из литературы

Основывайте гипотезы на данных из предыдущих исследований, чтобы обосновать их релевантность и правдоподобность.

### Пример:

Предыдущее исследование: *Исследования показали, что более низкие температуры хранения снижают уровень влажности зерна.*

Гипотеза: *Хранение пшеницы при 10 °C приведет к снижению уровня влажности на 20% по сравнению с хранением при 30 °C.*

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

### Концептуальная карта для формулирования исследовательского вопроса и гипотезы

#### (1) Определите, какие исследования проводились в прошлом:

- Обзор литературы и существующих данных по теме.
- Определение ключевых исследовательских пробелов.
- Есть ли уникальная область, которая еще не была исследована, или конкретный вопрос, который стоит повторить?

Пример:

- Проведите обзор существующих исследований по методам хранения зерновых культур.
- Определите недостаточно изученные аспекты методов хранения, таких как влияние температуры и влажности на качество зерна.

- Оцените потенциальную значимость повторного исследования на тему хранения зерновых культур при разных уровнях влажности.

#### (2) Начните сужать тему, задавая открытые вопросы «как» и «почему»:

- Формулирование вопросов, которые помогут сузить фокус исследования.
- Примеры: «Как условия хранения влияют на содержание микотоксинов в зерновых?», «Почему определенные методы сушки более эффективны для сохранения качества зерна?»

#### (3) Оцените вопрос:

- Оценка ясности, фокуса и сложности вопроса.
- Определение его потенциала и пользы для других исследователей.

**(4) Разработайте гипотезу:**

- Формулирование предположений о природе и направлении связи между переменными.
- Пример: «Зерновые культуры, хранящиеся при контролируемой влажности, имеют более низкий уровень микотоксинов по сравнению с зерном, хранящимся при неконтролируемой влажности.»

**(5) Запишите исследовательский вопрос:**

Формулировка вопроса своими словами. Пример: «Влияние контролируемой влажности на уровень микотоксинов в хранимых зерновых культурах».

**(6) Разделите вопрос на концепции:**

Сужение до двух или трех ключевых концепций. Пример: «контролируемая влажность», «уровень микотоксинов», «хранимые зерновые культуры».

**(7) Назовите исследуемую популяцию:** «зерновые культуры, хранящиеся в разных условиях влажности».

**(8) Определите вмешательство или воздействие, если имеется:** «Использование антисептических средств для предотвращения порчи фруктов при хранении».

**(9) Отразите ожидаемый исход:** «уменьшение уровня микотоксинов».

**(10) Анализ исследовательского вопроса:** Будет ли использование антисептических средств для обработки фруктов перед хранением уменьшать уровень их порчи?

Данный вопрос соответствует критериям осуществимость, интерес, новизна, этичность и актуальность. Также он детализирует вмешательство (антисептические средства), обоснование вмешательства (для предотвращения порчи), исследуемую популяцию (фрукты) и исход (уменьшение порчи).

**Важные моменты при формулировании исследовательского вопроса:**

- Избегайте слов или терминов, которые не добавляют смысла к исследовательским вопросам и гипотезам.

- Включайте в объем вопроса только те аспекты, которые будут изучаться, избегайте импликаций.
- Называйте переменные в порядке их возникновения/измерения.
- Избегайте слов «значительный» / «доказать».
- Избегайте использования двух разных терминов для обозначения одной и той же переменной.

# Применение рыбных коллагенсодержащих добавок в составе панировочных смесей

Калининградский государственный технический университет,  
г. Калининград, Российская Федерация

В.И. Воробьев, О.П. Чернега, Е.В. Нижникова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Воробьев Виктор Иванович  
E-mail: viktor.vorobev@klgtu.ru

## ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования  
доступны по запросу  
у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Воробьев, В.И., Чернега, О.П., &  
Нижникова, Е.В. (2024). Применение  
рыбных коллагенсодержащих добавок  
в составе панировочных смесей.  
*Хранение и переработка сельхозсыпья*,  
32(2), 25–36.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.424>

ПОСТУПИЛА: 07.11.2023

ДОРаБОТАНА: 11.06.2024

ПРИНЯТА: 15.06.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии  
конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследование выполнено в рамках  
проекта Федерального агентства по  
рыболовству (Министерство сельского  
хозяйства Российской Федерации)  
с рег. ном. 122030900086-1 от  
09.03.2022, код 01-32-05-1  
«Развитие и совершенствование  
производственных систем пищевой  
промышленности».

## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Применение маловостребованного дешевого коллагенсодержащего рыбного сырья (рыбьей чешуи и ее составляющих, таких как коллагенсодержащее волокно) обладающего хорошими влагоудерживающими, термомоделирующими и адгезивными свойствами в составе рецептур панировок, способствующего улучшению текстуры, сочности и увеличению выхода готовых кулинарных изделий, представляет интерес для индустрии питания.

**Цель:** Оценить влияние коллагенсодержащего рыбного сырья, используемого в рецептурах панировочных смесей, на возможность снижения массовых потерь полуфабрикатов при обжарке на растительном масле.

**Материалы и методы:** Исследовались опытные образцы сухих и жидких (кляра) панировочных смесей, в рецептурах которых применялась чешуя салаки с прилипшей к ней ее икрой (смесь и кляр II), а также коллагенсодержащее волокно из чешуи судака (смесь и кляр I и III). В качестве полуфабрикатов для панировки были взяты морковные и мясные котлеты, творожники, охлажденное филе окуня и трески. Определялось изменение массы (потери и прирост) панированных полуфабрикатов при обжарке и органолептические показатели полученных кулинарных изделий.

**Результаты:** Разработанные малокомпонентные рецептуры панировочных смесей с рыбьей чешуей и коллагенсодержащим волокном, способствовали снижению технологических потерь сырья полуфабрикатов в процессе их обжарки в масле, при увеличении массы готовых изделий и улучшении их органолептических характеристик по сравнению с контролем.

**Выводы:** Обоснована целесообразность применения коллагенсодержащего рыбного сырья в составе рецептур панировочных смесей, используемых в производстве полуфабрикатов из сырья растительного, молочного, животного и рыбного происхождения.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

рыбья чешуя; коллагенсодержащее волокно; панировочная смесь; рецептура;  
полуфабрикат; обжарка; кулинарное изделие

# Application of Fish Collagen-Containing Additives in Breading Mixtures

Kaliningrad State Technical University,  
Kaliningrad, Russian Federation

Viktor I. Vorobyev, Olga P. Chernega, Elena V. Nizhnikova

**CORRESPONDENCE:**

**Viktor I. Vorobyev**  
E-mail: viktor.vorobev@kltu.ru

**DATA AVAILABILITY:**

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

**FOR CITATIONS:**

Vorobyev, V.I., Chernega, O.P., & Nizhnikova, E.V. (2024). Application of fish collagen-containing additives in breading mixtures. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 25–36. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.424>

**RECEIVED:** 07.11.2023

**REVISED:** 11.06.2024

**ACCEPTED:** 15.06.2024

**PUBLISHED:** 30.04.2024

**DECLARATION OF COMPETING**

**INTEREST:** none declared.

**FUNDING:**

The study was carried out within the framework of the project of the Federal Agency for Fisheries (Ministry of Agriculture of the Russian Federation) with reg. nom. 122030900086-1 dated 03/09/2022, code 01-32-05-1 «Development and improvement of production systems of the food industry».

## ABSTRACT

**Introduction:** The use of low-demand cheap collagen-containing fish raw materials, such as fish scales and its components, namely, collagen-containing fiber, possessing good water-retaining, thermogelling and adhesive properties in the composition of breading recipes, helping to improve texture, juiciness and increasing the yield of finished culinary products, is a promising trend in the food industry.

**Purpose:** To evaluate how collagen-containing fish raw materials used in breading mixture recipes influence on the possibility of reducing the mass losses of semi-finished products when frying in vegetable oil.

**Materials and Methods:** Experimental samples of dry and liquid (batter) breading mixtures were studied. The recepies using Baltic herring scales with caviar adhered to it (mixture and batter II), as well as collagen-containing fiber from pike perch scales (mixture and batter I and III) were analysed. Carrot and meat patties, curd cheese pancakes, chilled perch and cod fillets were taken as semi-finished products for breading. The change in the mass (loss and gain) of breaded semi-finished products during frying and the organoleptic characteristics of the resulting culinary products were determined.

**Results:** It was determined that the developed low-component recipes for breading mixtures with fish scales and collagen-containing fiber contributed to the reduction of technological losses of raw materials of semi-finished products when frying in vegetable oil, while increasing the mass of finished products and improving their organoleptic characteristics compared to the control.

**Conclusion:** The efficiency of using collagen-containing fish raw materials in the recipes of breading mixtures used in the production of semi-finished products from raw materials of vegetable, dairy, animal and fish origin is substantiated.

## KEYWORDS

fish scales; collagen-containing fiber; breading mixture; recipe; semi-finished product; roasting; culinary product



## ВВЕДЕНИЕ

Процесс нанесения пищевого слоя (покрытия) на поверхность различных полуфабрикатов перед их тепловой обработкой называется панировкой. Подсчитано, что количество панированных изделий составляет 12,5 % от общего количества всех производимых пищевых продуктов (Василенко & Гуляев, 2022). Панировка препятствует выделению жидкости и жира из полуфабриката и испарению влаги с его поверхности, при тепловой обработке, а также излишнему поглощению жира (при обжарке в масле), сохраняя аромат, сочность и форму готового изделия, при обеспечении привлекательного внешнего вида, текстуры и вкуса (Chen et al., 2011; Tamsen et al., 2018; Данилеско, Мирошник 2018; Nanda et al. 2020; Bandre et al., 2018).

Список панировок обширен (панировочные сухари, американская крошка, панко, крекерная и пшеничная мука и др.), и их составы постоянно совершенствуются (Chen et al., 2011; Carvalho, Ruiz-Carrascal, 2018; Ching et al., 2021; Kupkanchanakul et al., 2019; Voong et al., 2018). Панировка бывает сухой (крошка, мука, присыпка и др.) и жидкой (кляр), а также однослоиной и многослойной, ее нанесение на полуфабрикат может осуществляться путем обваливания, опрыскивания, погружения в жидкость (окунание) или полива, присыпкой вручную или машинным способом (Chen et al., 2011; Suhag et al., 2020).

С целью улучшения текстуры, сочности и уменьшения потерь сырья при производстве кулинарных изделий в составе панировочной смеси применяются биополимеры растительного и животного происхождения, в том числе рыбный коллаген и желатин (глютин), выполняющие роль загустителя, стабилизатора, гелеобразователя и водоудерживающего агента (Ching et al., 2021; Martin et al., 2019; Abdul-Zubir et al., 2022; Глотова и др., 2018; Антипова и др., 2012; Антипова и др., 2015; Сложенкина и др., 2021). В холодной воде нативный рыбный коллаген нерастворим (не проявляет «клевые» свойства). Клеевыми (адгезивными) свойствами обладают продукты гидролиза рыбного коллагена, имеющие

молекулярную массу от 60000 Да (Schellmann, 2007). Особенностью рыбного коллагена (I-типа) является то, что он считается проколлагеном (имеет меньшее число аминокислот и поперечных межмолекулярных связей по сравнению со «зрелым» коллагеном млекопитающих), который способен в отличие от других коллагенов набухать и частично растворяться в растворах слабых органических кислот (Плиева, 2019).

При нагревании, в присутствии воды, коллаген гидролизуется и переходит в желеобразное состояние (глютин — основа рыбного кляя). Рыбный коллаген менее устойчив чем животный. Если коллаген говядины, после нагревания в течении 2,5 мин подвергается желатинизации примерно на 10%, то коллаген рыбы при тех же условиях разрушается на 50–60 и до 75%. Повышение кислотности мяса ускоряет разложение коллагена, особенно в начальной фазе (до 5–10 мин) (Kolakovskiy, 1991). Запатентованы панировочные смеси (CN112956509, RU2260357)<sup>1,2</sup>, в рецептуре которых применяются продукты ферментативного гидролиза рыбного коллагена, имеющие пониженные адгезионные свойства и высокую себестоимость.

Снижение себестоимости рыбного коллагена за счет его получения основанного на простых физических методах обработки рыбьей чешуи (очистка, сушка, измельчение и сепарирование образовавшейся смеси) без применения дорогостоящего и длительного процесса ее гидролиза и соответственно вовлечение значительных количеств недостаточно используемого коллагенсодержащего сырья (чешуя рыб) в промышленное производство, как компонента рецептур панировочных смесей, обладающего хорошими влагоудерживающими, термостабильными и адгезивными свойствами, представляет интерес для индустрии питания. Цель текущего исследования: Провести исследования направленные на возможное снижение массовых потерь полуфабрикатов при обжарке на растительном масле, за счет применения панировочных смесей содержащих коллагенсодержащие рыбные добавки.

<sup>1</sup> Liu Haiying Yan Dongmei; Yu Wenxia (2021). Healthy breadcrumbs and preparation method thereof. Patent CN112956509. Univ Jiangnan; Lianyungang Anny Food Co Ltd.

<sup>2</sup> Антипова Л.В., Глотова И.А., Батищев В.В. (2006) Способ производства формованных изделий в коллагеновом покрытии. РФ Патент № 2260357. Воронеж: ООО «Палтус-2».

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

Получение коллагенсодержащего волокна (далее по тексту – КВ), а также изготовление опытных образцов панировочных смесей и панированных полуфабрикатов осуществляли в лабораториях кафедры органической химии и технологии продуктов питания Калининградского государственного технического университета.

Коллагенсодержащее волокно, получено согласно способу, разработанному ранее специалистами университета из чешуи судака, образующейся на ООО «БАЛТ-ИНЕЙ» при обработке рыбного сырья (Воробьев и др., 2021).

В процессе вылова и первичной обработки нерестовой балтийской салаки, образуется чешуя, особенностью которой является значительное количество прочно прилипшей к ней ее икры (далее по тексту – ЧНС).

Внешний вид КВ, представляет собой нитеобразные частицы нативного коллагена (около 300000 Да) (Рисунок 1).

Внешний вид ЧНС представлен на Рисунке 2.

С целью использования ЧНС в пищевых целях, ввиду образования монолитного комка при ее сушке и возможной остановке измельчителя, после ее промывки водой и удаления жидкости, чешую смешивали со злаковыми или их смесями (пшеница, рис) в массовом соотношении 30:70 и высушивали воздухом (до 70 °C).

Панировочные смеси получали путем смешивания и измельчения компонентов панировки (КВ, ЧНС, пшеничная крупка, рис), взятых в определенных соотношениях, в высокоскоростном мультифункциональном измельчителе: I – панировочная смесь (КВ – 20 %, пшеничная крупка – 80 %), II – (ЧНС – 30 %, пшеничная крупка – 70 %), III – (КВ – 20 %, рис – 40 %, пшеничная крупка – 40 %), K – контроль (пшеничная мука 100 %) (Рисунок 3).

Все полуфабрикаты перед панировкой, спрыскивались лимонным соком. Панировочная смесь на изделие наносилась вручную способом обвалки. В качестве полуфабрикатов для панировки были взяты морковные и мясные котлеты, творожники, охлажденное филе окуня и трески.

Рисунок 1

Коллагенсодержащее волокно (КВ) из чешуи судака



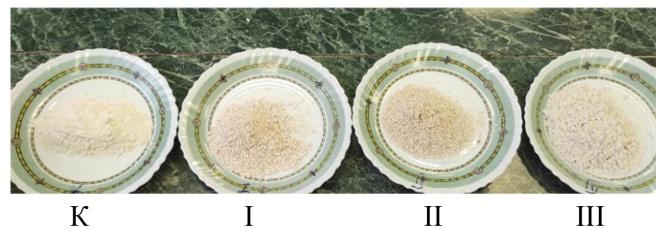
Рисунок 2

Высушенная чешуя нерестовой салаки с прочно прилипшей к ней ее икрой (ЧНС), полученная после обработки рыбы в моечном барабане.



Рисунок 3

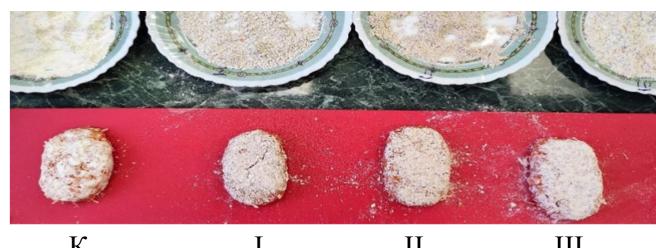
Панировочные смеси



Примечание. I – панировочная смесь (КВ – 20 %, пшеничная крупка – 80 %), II – (ЧНС – 30 %, пшеничная крупка – 70 %), III – (КВ – 20 %, рис – 40 %, пшеничная крупка – 40 %), K – контроль (пшеничная мука 100 %)

Рисунок 4

Морковные котлеты в панировочных смесях



Примечание. I – панировочная смесь (КВ – 20 %, пшеничная крупка – 80 %), II – (ЧНС – 30 %, пшеничная крупка – 70 %), III – (КВ – 20 %, рис – 40 %, пшеничная крупка – 40 %), K – контроль (пшеничная мука 100 %)

Образцы панированных морковных котлет представлены на Рисунке 4. Морковные котлеты в панировке были приготовлены по следующей рецептуре: морковь – 700 г, манная крупа – 100 г, соль, перец. Время жарки на сковороде с растительным маслом – 4 минуты до температуры 75 °С.

Образцы обжаренных панированных котлет из фарша «Домашний» (ООО «KLD», г. Калининград) представлены на Рисунке 5. Мясные котлеты были приготовлены по следующей рецептуре: говядина, свинина – 500 г (соотношение 50/50), яйцо куриное – 40 г., соль, перец. Время жарки на сковороде с растительным маслом 7–10 минуты до температуры 85 °С.

**Рисунок 5**  
Котлеты мясные в панировочных смесях



Примечание. I – панировочная смесь (ВК – 20 %, пшеничная крупа – 80 %), II – (ЧНС – 30 %, пшеничная крупа – 70 %), III – (ВК – 20 %, рис – 40 %, пшеничная крупа – 40 %), K – контроль (пшеничная мука 100 %)

**Рисунок 6**  
Творожники в панировочных смесях

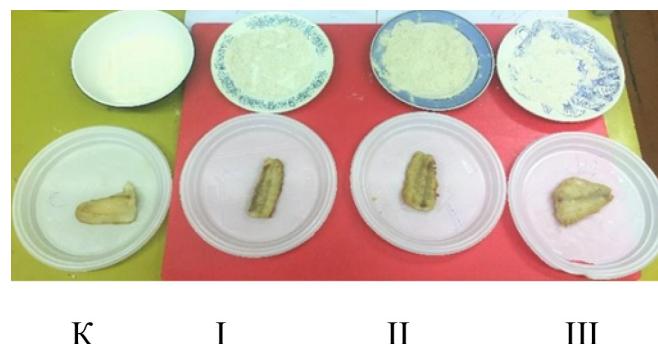


Примечание. I – панировочная смесь (ВК – 20 %, пшеничная крупа – 80 %), II – (ЧНС – 30 %, пшеничная крупа – 70 %), III – (ВК – 20 %, рис – 40 %, пшеничная крупа – 40 %), K – контроль (пшеничная мука 100 %).

Образцы панированных творожников представлены на Рисунке 6. Творожники готовили по следующей рецептуре: творог – 300 г, сахар – 15 г, яйцо куриное – 40 г. Время жарки на сковороде с растительным маслом – 5–7 минуты до температуры 85 °С.

Образцы панированного и обжаренного филе окуня представлены на Рисунке 7.

**Рисунок 7**  
Филе обжаренного окуня в панировочных смесях



Примечание. I – панировочная смесь (ВК – 20 %, пшеничная крупа – 80 %), II – (ЧНС – 30 %, пшеничная крупа – 70 %), III – (ВК – 20 %, рис – 40 %, пшеничная крупа – 40 %), K – контроль (пшеничная мука 100 %)

К сухим панировочным смесям была добавлена вода с целью получения кляра, рецептуры которого представлены в Таблице 1.

**Таблица 1**  
Рецептура смеси для получения кляра

Наименование ингредиентов	Масса смеси, г	Масса воды, г	Массовое соотношение смесь : вода
Мука пшеничная (контроль)	30,0	30,0	1:1
I – смесь (чешуя 20%, пшеничная крупа 80%)	30,0	60,0	1:2
II – смесь (30% чешуя с икрой, 70% пшеничная крупа)	30,0	60,0	1:2
III – смесь (20% коллаген, 40% рисовая мука, 40% пшеничная крупа)	30,0	60,0	1:2

## Оборудование

Мойку чешуи судака и салаки (в капроновой сетке) по отдельности осуществляли в стиральной машине (LG F2WN2S6S3E, Польша), обработку промытого рыбного сырья — в 5% растворе поваренной соли и 1% пищевой соды (массовое соотношение рыбное сырье: раствор — 1:4) в течение 40 минут в емкостях из нержавеющей стали и далее промывали пресной водой с целью удаления соли.

Очищенную, рыбью чешую судака обезвоживали в электросушилке (Спектр-Прибор ЭСОФ-2-0,6/220 Ветерок-2, Россия), чешую салаки в электросушилке Clatronic DR 2751.

Измельчение высушенной чешуи и панировочных смесей производили при помощи измельчителя (чаша 0,8 литра, 36000 об/мин, производитель Zhejiang Winki Plastic Co., Ltd., Китай). Сепарировали измельченную чешую электровибратором (модель PS-300B, Китай со сменными ситами).

Измельчение растительного и мясного сырья осуществляли на мясорубке Polaris PMG 1872, тепловую обработку на электрической плите KITFORT KT-131.

## Методы

Определение изменения массы полуфабрикатов (потери и прирост) при тепловой обработке и органолептическую оценку опытных образцов панированных кулинарных изделий проводили стандартными и общепринятыми методами.

### Процедура исследования

Органолептический анализ качества готовой продукции проводился по следующим характеристикам: внешний вид, консистенция, вкус и запах готового изделия, цвет панировки после обжаривания, наличие хруста панировки при разжевывании, ее запаха и вкуса.

При оценке внешнего вида изделия обращали внимание на его конкретные свойства, такие как форма и состояние поверхности. Оценка консистенции и вкуса проводилась тактильно в полости рта в процессе пережевывания, с установлением типичности вкуса и консистенции для изделия данного

вида, запах глубоким вдохом, задерживая дыхание на 2–3 с и выдоханием. В ходе анализа устанавливали типичность запаха для изделия данного вида.

Потери при тепловой обработке полуфабрикатов определяли для изделий, реализуемых в горячем состоянии, с учетом потерь при остывании до температуры 40 °C.

Схема проведения работ по определению потерь при тепловой обработке: 1 этап — определение массы опытной партии полуфабриката взвешиванием, 2 этап — определение массы готового продукта взвешиванием после тепловой обработки, 3 этап — определение массы готового продукта взвешиванием после тепловой обработки и остывания до температуры 40 °C, 4 этап — определение потерь расчетным способом при тепловой обработке с учетом потерь при остывании. При жарке панированных кулинарных изделий расчет проводят с учетом массы панировки. Определение потерь массы полуфабриката с учетом потерь при остывании, в процентах к массе полуфабриката определяли по формуле:

$$\text{Пт} = (M_1 - M_2) / M_1 \times 100$$

Пт — потери при тепловой обработке и остывании продукта, кг;

$M_1$  — масса сырья нетто или полуфабриката, подготовленного к тепловой обработке, кг;

$M_2$  — масса готового продукта после тепловой обработки, кг

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Прикладные и научные аспекты применения панировочных смесей с коллагенсодержащей добавкой

Глобальный рост спроса и неизбежность потребления жареной продукции людьми, при осознании необходимости здорового образа жизни, ставит перед специалистами индустрии питания задачу получения здоровой пищи путем модификации поверхности продукта (панировки), способствующей снижению уровня поглощения фритюрного масла при жарке путем применения гидроколлоидов растительного и животного происхождения в рецептуре покрытий (Liberty et al., 2019; Voong et al., 2019). Получение здо-

ровой пищи возможно путем использования панировочной смеси, в рецептуре которой, помимо злаковых (пшеница, рис), применяется рыбья чешуя и ее составляющие, такие как коллагенсодержащее волокно.

Рыбья чешуя, образующаяся в процессе рыборазделки (оценивается в 8 млн т/год в мире), является малоиспользуемым сырьем, содержащим значительное количество белка (40–84% от общего содержания сухого вещества) в основном коллагена и ее вовлечение в производство пищевой продукции является актуальной задачей рыбной промышленности (Kodali et al., 2022; Дгебуадзе, Чернова, 2009).

Имеющийся зарубежный и отечественный опыт получения панировочных смесей с использованием рыбного коллагена основан на гидролизе рыбного сырья, который предусматривает перевод коллагена в растворимое состояние путем обработки кислотой, щелочью или ферментами с последующим его выделением из раствора (Rajabimashhadi et al., 2023). Процесс гидролиза сопровождается значительными потерями исходного сырья и низким выходом готовой продукции, использованием больших объемов применяемых жидкостей, которые требуют нейтрализации с образованием солей, высокими энергозатратами (в виду высушивания растворов), использованием химических реагентов и дорогостоящих ферментов, что существенно ограничивает промышленное применение процесса гидролиза (Rajabimashhadi et al., 2023; Salvatore et al., 2020). Запатентованный способ получения панировочных смесей с КВ, а также ЧНС основан на “сухом” методе без применения процесса гидролиза<sup>3</sup>. Применение простых физических методов обработки согласно разработанного способа (высушивание, измельчение, сепарирование) позволяет значительно снизить себестоимость получаемых коллагенсодержащих добавок и использовать их в составе панировок в промышленных масштабах.

Получаемое КВ имеет тенденцию к «слипанию» между собой, что препятствует равномерному нанесению панировочного слоя на поверхность полуфабриката в сухом виде. Для устранения указанного недостатка, предварительно КВ смешивается и измельчается со злаковыми в определенным массовом соотношении с получением однородной смеси. При совместном измельчении, злаковые

выступают в роли абразива для нитеобразных частиц КВ, способствуя истиранию и уменьшению их размера, кроме того, образующиеся измельченные частицы злаковых обволакивая коллагеновые частицы препятствуют их «слипанию».

Эмпирически установлено, что при увеличении массовой доли КВ более 20% в смеси, возможно образование комков-катышей с размером более 2,5 мм, что может привести к неоднородности полученной панировочной смеси. В процессе исследований также установлено, что полученная измельченная смесь с размером частиц не более 2,5 мм хорошо (равномерным слоем) наносится и удерживается на поверхности полуфабриката при панировке.

Предварительная обработка поверхности полуфабриката лимонным соком способствует частичной мацерации поверхности полуфабриката и ускорению процесса частичного гидролиза высокомолекулярного коллагена в панировочной смеси, улучшая тем самым адгезию панировки при нанесении на поверхность и хранении изделия до обработки, а также в процессе его тепловой обработки (жарки), вследствие быстрого гидролиза высокомолекулярного рыбного коллагена приводящего к образованию фракций (55000–90000 Да), обладающих высокими адгезивными свойствами. В результате происходит образование монолитного, плотно прилегающего хрустящего панировочного слоя на поверхности изделия (корочки), препятствующего выделению жидкости и жира из полуфабриката и испарению влаги с поверхности, а также одновременно снижающего диффузию в него, используемого для жарки масла, что позволяет уменьшить технологические потери его массы при тепловой обработке и соответственно увеличить выход готовых изделий, способствуя улучшению их сочности и жевательности.

### **Результаты технологических потерь кулинарных полуфабрикатов в сухой панировке после обжарки (растительное масло) и их органолептические показатели**

Изменение массы полученных кулинарных изделий (морковные котлеты, котлеты из фарша «Домашний», филе окуня и трески, творожники) па-

<sup>3</sup> Воробьев В.И., Чернега О.П., Нижникова Е.В. (2023) Панировочная смесь. РФ Патент №2806832. Калининград: Калининградский государственный технический университет

нированные опытными образцами смесей (I, II, III) после обжарки на сковороде с растительным маслом представлены в Таблицах 2–6.

По данным, приведенным в Таблице 2 видно, что опытные образцы панировочных смесей способствовали снижению технологических потерь при тепловой обработке (соответственно 1,37 %, +2,31 %, +2,8 %) по сравнению с контролем (2,7 %). Прирост массы готового изделия с панировочной смесью II и III, по сравнению с исходным полуфабрикатом связан, с поглощением панировкой части растительного масла, применяемого при жарке.

Органолептическая оценка контрольной и опытных образцов готовой продукции показала следующее: все изделия имели округло-овальную форму, поверхность без разорванных и ломаных краев, равномерно панированную, с поджаренной корочкой золотисто-коричневого цвета, без привкуса и аромата рыбы, нежную консистенцию.

Следует отметить, что изделия, приготовленные с использованием панировочной смеси № II имели

самую сочную консистенцию, цвет панировки золотисто-коричневый. Присутствовал явный хруст панировки при разжевывании. Запах и вкус, соответствующий котлетам из моркови. Все образцы панировочных смесей (I, II, III) хорошо держат форму изделия, по сравнению с контролем.

Согласно Таблице 3, опытные панировочные смеси способствовали снижению технологических потерь при тепловой обработке (соответственно 20,50 %, 23,03 %, 25,34 %) по сравнению с контролем (33,12 %).

Органолептическая оценка контрольной и опытных образцов готовой продукции показала следующее: все изделия имели округло-овальную форму, поверхность без разорванных и ломаных краев, равномерно панированную, с поджаренной корочкой коричневого цвета, без привкуса и аромата рыбы, мягкую консистенцию.

Согласно Таблице 4, опытные панировочные смеси способствовали снижению технологических потерь при тепловой обработке (соответственно 0,7 %, +3,5 %, +6,6 %) по сравнению с контролем (10,4 %). Прирост массы готового изделия с панировочной

**Таблица 2**

Изменение массы морковных котлет в панировке после обжарки

Панировка	Морковные котлеты				
	Масса котлеты, г	Масса панировки, г	Масса котлеты в панировке до жарения, г	Масса котлеты после жарения, г	Потери и прирост массы котлеты после жарения, %
Контроль	70,0	3,5	73,5	71,5	2,72
Смесь I	70,0	3,5	73,5	72,5	1,37
Смесь II	70,0	3,5	73,5	71,8	+2,31
Смесь III	70,0	4,5	74,5	76,6	+2,80

**Таблица 3**

Изменение массы мясных котлет в панировке после обжарки

Панировка	Котлеты из фарша «Домашний»				
	Масса котлеты, г	Масса панировки, г	Масса котлеты в панировке до жарения, г	Масса котлеты после жарения, г	Потери и прирост массы котлеты после жарения, %
Контроль	80,0	1,5	81,5	54,5	33,12
Смесь I	91,0	4,0	95,0	75,5	20,50
Смесь II	97,0	5,0	102,0	78,5	23,03
Смесь III	101,5	7,0	108,5	81,0	25,34

смесью II и III, по сравнению с исходным полуфабрикатом, связан с поглощением панировкой части растительного масла, применяемого при жарке.

При органолептической оценке творожников в различной панировке обращали внимание на внешний вид (форма, состояние поверхности), консистенцию, вкус и запах готового изделия, цвет панировки после обжаривания, наличие хруста панировки при разжевывании. Органолептическая оценка контрольной и опытных образцов готовой продукции показала, что творожные изделия, приготовленные с использованием панировочных смесей, сохранили форму после термообработки в отличии от образцов с мучной панировкой. Панировочные смеси прочно удерживались на поверхности продукта, что обеспечило необходимую сочность готовых формованных изделий. Изделия с использованием пшеничной муки потеряли форму и имели непривлекательный внешний вид.

Как свидетельствует Таблица 5, опытные панировочные смеси способствовали снижению технологических потерь при тепловой обработке (соответственно 7,5%, 6,7% и 5,3%) по сравнению с контролем (19,4%). Органолептическая оценка полученных образцов кулинарной продукции- филе рыбы в панировке показала:

но 10,44%, 8,8% и 0,0%) по сравнению с контролем (14,6%).

Согласно данным Таблицы 6, опытные панировочные смеси способствовали снижению технологических потерь при тепловой обработке (соответственно 7,5%, 6,7% и 5,3%) по сравнению с контролем (19,4%). Органолептическая оценка полученных образцов кулинарной продукции- филе рыбы в панировке показала:

(1) Контроль — консистенция филе сочная, нежная, панировка не отстает от продукта, равномерно покрывает рыбу, хруст отсутствует, цвет золотистый;

(2) Смесь I — консистенция филе сочная, нежная, панировка не отстает от продукта, равномерно покрывает рыбу, присутствует хруст, цвет коричневый, вкус панировки нейтральный, не перебивает вкус рыбы;

(3) Смесь II — консистенция филе сочная, нежная, панировка не отстает от продукта, равномерно покрывает рыбу, чуть менее выражен хруст, цвет светло-золотистый, вкус панировки нейтральный, не перебивает вкус рыбы;

**Таблица 4**

Изменение массы творожника в панировке после обжарки

Панировка	Творожник					Потери и прирост массы творожника после жарения, %
	Масса творожника, г	Масса панировки, г	Масса творожника в панировке до жарения, г	Масса творожника после жарения, г		
Контроль	70,0	2,0	72,0	64,5		10,4
Смесь I	70,0	6,0	76,0	75,5		0,7
Смесь II	79,0	5,0	84,0	87,0		+3,5
Смесь III	69,0	6,0	75,0	80,0		+6,6

**Таблица 5**

Изменение массы филе окуня в панировке после обжарки

Панировка	Филе окуня					Потери и прирост массы филе после жарения, %
	Масса филе, г	Масса панировки, г	Масса филе в панировке до жарения, г	Масса филе после жарения, г		
Контроль	35,5	2,0	37,5	32,0		14,6
Смесь I	31,5	2,0	33,5	30,0		10,4
Смесь II	30,0	4,0	34,0	31,0		8,8
Смесь III	31,5	2,5	34,0	34,0		0,0

Таблица 6

Изменение массы филе трески в панировке после обжарки

Панировка	Филе трески				
	Масса филе, г	Масса панировки, г	Масса филе в панировке до жарения, г	Масса филе после жарения, г	Потери и прирост массы филе после жарения, %
Контроль	97,0	1,0	98,0	79,0	19,4
Смесь I	97,5	3,0	100,5	93,0	7,5
Смесь II	72,0	2,5	74,5	69,5	6,7
Смесь III	102,0	2,5	104,5	99,0	5,3

Таблица 7

Изменение массы филе трески в кляре в процессе обжарки

Панировка	Филе трески				
	Масса филе, г	Масса кляра, г	Масса филе в кляре до жарения, г	Масса филе после жарения, г	Потери и прирост массы филе после жарения, %
Контроль	96,5	19,5	116,0	100,0	13,8
Смесь I	93,5	30,0	123,5	113,0	8,5
Смесь II	90,0	18,5	108,5	99,5	8,5
Смесь III	107,0	26,5	133,5	123,0	7,5

(4) Смесь III — консистенция рыбы сочная, нежная, панировка не отстает от продукта, равномерно покрывает рыбу, чуть менее выражен хруст, цвет светло-золотистый, вкус панировки нейтральный, не перебивает вкус рыбы.

### Результаты технологических потерь кулинарных полуфабрикатов в кляре после обжарки (растительное масло)

Применение жидкой панировки (кляр) и ее влияние на изменение массы филе трески в процессе обжарки представлено в Таблице 7. Аналогично сухой панировке, жидкая панировка-клэр способствовала снижению технологических потерь полуфабриката при обжарке (соответственно 8,5 % и 7,5 %) по сравнению с контролем (13,8 %).

Отсутствие рыбного запаха у добавки КВ и длительное сохранение качества в обычной (полимерной или бумажной) упаковке в процессе хранения при комнатной температуре делает ее универсальной и позволяет использовать в различных направлениях пищевой промышленности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование касается термической обработки (обжарки на растительном масле) кулинарных полуфабрикатов в панировочных смесях одним из рецептурных компонентов которых является коллагенсодержащая добавка из чешуи рыб. Оценено влияние коллагенсодержащих рыбных добавок (КВ и ЧНС) используемых в рецептурах панировочных смесей на снижение массовых потерь кулинарных полуфабрикатов при обжарке на растительном масле. Полученные результаты ожидаемы, так как применение коллагенсодержащих добавок (КВ и ЧНС) в рецептуре панировочных смесей, обладающих высокими влагоудерживающими и «клеевыми» свойствами, способствовало удержанию жидкости и соответственно снижению массовых потерь кулинарных полуфабрикатов в процессе их термической обработки. Отсюда, использование панировочных смесей с коллагенсодержащей добавкой из рыбьей чешуи при производстве различных кулинарных полуфабрикатов представляется эффективным. Дальнейшие исследования будут направлены на расширение рецептур (помимо панировочных смесей) и ассортимента различной пищевой продукции с использованием коллагенсодержащих добавок.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Воробьев Виктор Иванович:** общее руководство исследованием; редактирование рукописи.

**Чернега Ольга Павловна:** проведение исследования; создание черновика рукописи; редактирование рукописи.

**Нижникова Елена Владимировна:** проведение исследования; валидация данных.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Антипова, Л. В., Сторублевцев, С. А., & Бобрешова, М. В. (2012). Шкуры рыб как объект для получения коллагеновых субстанций. *Научные труды Университета пищевых технологий. Пловдив*, 59, 976–978.
- Antipova, L. V., Storublevtsev, S. A., & Bobreshova, M. V. (2012). Fish skins as an object for obtaining collagen substances. *Scientific Works of the University of Food Technologies. Plovdiv*, 59, 976–978. (In Russ.)
- Антипова, Л. В., Сторублевцев, С. А., Болгова, С. Б., Сухов, И. В., Матасова, К. В., Жданова, И. Ю., & Майорова, К. В. (2015). Применение коллагеновых субстанций в отраслях экономики. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 10(4), 601–604.
- Antipova, L. V., Storublevtsev, S. A., Bolgova, S. B., Sukhov, I. V., Matasova, K. V., Zhdanova, I. Yu., & Mayorova, K. V. (2015). The use of collagen substances in economic sectors. *International Journal of Applied and Fundamental Research*, 10(4), 601–604. (In Russ.)
- Василенко, З. В., & Гуляев, К. К. (2022). Виды панировок и их применение в производстве кулинарной продукции. *Техника и технология пищевых производств: материалы XIV Международной научно-технической конференции* (с. 245–246). Могилев: Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий.
- Vasilenko, Z. V., & Gulyaev, K. K. (2022). Types of breading and their application in the production of culinary products. *Technique and Technology of Food Production: Materials of the XIV International Scientific and Technical Conference* (pp. 245–246). Mogilev: Belarusian State University of Food and Chemical Technologies. (In Russ.)
- Воробьев, В. И., & Нижникова, Е. В. (2021). Получение фракций коллагена и гидроксиапатита из рыбьей чешуи. *Известия КГТУ*, (62), 80–91. <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-62-80-91>
- Vorobiev, V. I., & Nizhnikova, E. V. (2021). Obtaining collagen and hydroxyapatite fractions from fish scales. *KSTU News*, (62), 80–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.46845/1997-3071-2021-62-80-91>
- Глотова, И. А., Балабаев, В. С., Котлярова, Л. П., & Пономарева, М. А. (2018). Применение хитозановых композиций в барьерных технологиях мясных рубленых полуфабрикатов. *Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции*, (1), 97–104.
- Glotova, I. A., Balabaev, V. S., Kotlyarova, L. P., & Ponomareva, M. A. (2018). Application of chitosan compositions in barrier technologies of minced meat semi-finished products. *Tehnologii i Tovarovedenie Selskohozajstvennoj Produkci*, (1), 97–104. (In Russ.)
- Данилеско, А. А., & Мирошник, А. С. (2018). Сохранение пищевой ценности мясного фарша. *Аграрно-пищевые инновации*, (1), 80–83.
- Danilesko, A. A., & Miroshnik, A. S. (2018). Preservation of nutritional value of mincemeat. *Agrarian and Food Innovations*, (1), 80–83. (In Russ.)
- Дгебуадзе, Ю. Ю., & Чернова, О. Ф. (2009). Чешуя kostистых рыб как диагностическая и регистрирующая структура. Москва: Товарищество науч. изд. КМК.
- Dgebuadze, Yu. Yu., & Chernova, O. F. (2009). *Scales of bony fish as a diagnostic and recording structure*. Moscow: Scientific Publishing Association KMK. (In Russ.)
- Колаковский, Э. (1991). *Технология рыбного фарша*. Москва: Агропромиздат.
- Kolakovsky, E. (1991). *Technology of fish mince*. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.)
- Плиева, Р. А., Арчакова, Р. Д., Ужахова, Л. Я., Султыгова, З. Х., Темирханов, Б. А., Ялхороева, М. А., Дирикова, Л. А., & Китиева, Л. И. (2019). Изучение химического состава рыбных шкур. *Colloquium-Journal*, 2–2(26), 68–70.
- Plieva, R. A., Archakova, R. D., Uzhakhova, L. Ya., Sultygova, Z. Kh., Temirkhanov, B. A., Yalxoreva, M. A., Didigova, L. A., & Kitieva, L. I. (2019). Study of the chemical composition of fish skins. *Colloquium-Journal*, 2–2(26), 68–70. (In Russ.)
- Сложенкина, М. И., Сивко, А. Н., & Асеев, Н. А. (2021). Эффективность применения растительной панировки в технологии цельно-мышечных изделий. *Аграрно-пищевые инновации*, 16(4), 55–65. <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-16-55-65>
- Slozhenkina, M. I., Sivko, A. N., & Aseev, N. A. (2021). The effectiveness of the use of vegetable breading in the technology of wholemuscle products. *Agrarian and Food Innovations*, 16(4), 55–65. (In Russ.) <https://doi.org/10.31208/2618-7353-2021-16-55-65>
- Abdul-Zubir, A. S. M. A. K., Suleiman, N., Yusof, N. L., Ismail, I., & Ismail-Fitry, M. R. (2022). Different percentages of basil seeds (*Ocimum basilicum* l.) as hydrocolloid in the batter coating system: Effect on the physicochemical and sensory properties of breaded fish fillets. *Malaysian Applied Biology*, 51(2), 69–76. <https://doi.org/10.55230/mabjournal.v51i2.2245>

- Bandre, P. G., Koli, J. M., Shrangdher, S. T., Shingare, P. E., Swami, S. B., Sonavane, A. E., & Bhingarde, O. M. (2018). Development of predusting mix for coating of battered and breaded squid rings from (*Loligo duvaucelii*). *International Journal of Pure & Applied Bioscience*, 6(4), 625–642. <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1786205>
- Carvalho, M. J., Ruiz-Carrascal, J. (2018). Improving crunchiness and crispness of fried squid rings through innovative tempura coatings: Addition of alcohol and CO<sub>2</sub> incubation. *Journal of Food Science and Technology*, 55, 2068–2078. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3121-2>
- Chen, R. Y., Wang, Y., & Dyson, D. (2011). Breadings—what they are and how they are used. In *Batters and Breadings in Food Processing* (pp. 169–184). <https://doi.org/10.1016/b978-1-891127-71-7.50015-2>
- Ching, L. W., Zulkipli, N. A. M., Muhamad, I. I., Marsin, A. M., Khair, Z., & Anis, S. N. S. (2021). Dietary management for healthier batter formulations. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 411–422. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.054>
- Kodali, D., Hembrick-Holloman, V., Gunturu, D. R., Samuel, T., Jeelani, S., Rangari, V. K. (2022). Influence of fish scale-based hydroxyapatite on forcespun polycaprolactone fiber scaffolds. *ACS Omega*, 7(10), 8323–8335. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c05593>
- Kupkanchanakul, W., Yamaguchi, T., & Naivikul, O. (2019). Gluten-free rice breading using composited rice flour and pre-germinated brown rice flour for health benefits. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 65(Supplement), 206–211. <https://doi.org/10.3177/jnsv.65.S206>
- Liberty, J. T., Dehghannya, J., & Ngadi, M. O. (2019). Effective strategies for reduction of oil content in deep-fat fried foods: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 92, 172–183. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.050>
- Martin Xavier, K. A., Kannuchamy, N., Balange, A., & Gudipati, V. (2019). Development of enrobed fish products: Improvement of functionality of coated materials by added aquatic polymers. *Journal of Food Process Engineering*, 42(3), e12999. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12999>
- Nanda, C., Chattopadhyay, K., Reddy, R., Javith, M. A., Kisore Das, S., Balange, A. K., Nayak, B. B., & Xavier, K. M. (2020). Evaluation of different conventional breading materials on functional quality attributes of battered and breaded fish cutlets. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 29(7), 641–649. <https://doi.org/10.1080/10498850.2020.1786205>
- Rajabimashhadi, Z., Gallo, N., Salvatore, L., & Lionetto, F. (2023). Collagen derived from fish industry waste: Progresses and challenges. *Polymers*, 15(3), 544. <https://doi.org/10.3390/polym15030544>
- Salvatore, L., Gallo, N., Natali, M. L., Campa, L., Lunetti, P., Madaghiele, M., Blasi, S. F., Corallo, A., Capobianco, L., & Sannino, A. (2020). Marine collagen and its derivatives: Versatile and sustainable bio-resources for healthcare. *Materials Science and Engineering: C*, 113, 110963. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2020.110963>
- Schellmann, N. C. (2007). Animal glues: a review of their key properties relevant to conservation. *Studies in conservation*, 52(sup1), 55–66. <https://doi.org/10.1179/sic.2007.52.1.55>
- Suhag, R., Kumar, N., Petkoska, A. T., & Upadhyay, A. (2020). Film formation and deposition methods of edible coating on food products: A review. *Food Research International*, 136, 109582. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>
- Tamsen, M., Soltanizadeh, N., & Shekarchizadeh, H. (2018). Evaluation of physicochemical properties of chicken nuggets produced with amaranth seed flour. *Iranian Food Science & Technology Research Journal*, 14(5), 755–765. <https://doi.org/10.22067/ifstrj.v14i5.66321>
- Voong, K. Y., Norton, A. B., Mills, T. B., & Norton, I. T. (2018). Characterisation of deep-fried batter and breaded coatings. *Food Structure*, 16, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2018.03.002>
- Voong, K. Y., Norton-Welch, A., Mills, T. B., & Norton, I. T. (2019). Understanding and predicting sensory crispness of deep-fried battered and breaded coatings. *Journal of texture studies*, 50(6), 456–464. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12456>

# Исследование свойств гуаровой камеди после ультразвукового воздействия при различной кислотности водных растворов

К.Н. Нициевская, С.В. Станкевич, Е.В. Бородай, В.Б. Мазалевский

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук (СФНЦА РАН),  
р.п. Краснообск, Российская Федерация

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**  
**Ксения Николаевна Нициевская**  
E-mail: nitsievskayakn@sfsca.ru

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:**  
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**  
Нициевская, К. Н., Станкевич, С. В.,  
Бородай, Е. В., & Мазалевский, В. Б.  
(2024). Исследование свойств гуаровой камеди после ультразвукового воздействия при различной кислотности водных растворов. *Хранение и переработка сельхозсыревья*, 32(2), 37–50.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.506>

**ПОСТУПИЛА:** 30.10.2023  
**ДОРАБОТАНА:** 03.06.2024  
**ПРИНЯТА:** 15.06.2024  
**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.06.2024

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**  
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Применение гуаровой камеди в пищевой промышленности для создания низкокалорийных продуктов позволяет сохранить структурные характеристики традиционных аналогов. Для моделирования вязкости и стабилизации текстуры продукта применяют различные электрофизические методы, в т.ч. ультразвук. Влияние ультразвукового воздействия на стабилизацию гуаровой камеди мало изучено.

**Цель:** Изучение влияния ультразвуковой обработки на свойства полисахарида (гуаровой камеди) для ее дальнейшего использования при производстве пищевых продуктов (желейного мармелада, пасты, зефира, мясных и рыбных студней, желе, пудингов, мороженого и т.д.) со стабильной текстурой.

**Материалы и методы:** Объектами исследования являлись образцы – водные растворы гуаровой камеди. В качестве растворителя использовали очищенную воду в соотношении 1:100 соответственно. Образцы подвергали ультразвуковому воздействию при различном диапазоне времени и pH. Изучали поведение полисахарида в водном растворе под воздействием ультразвука при разных значениях pH среды (3,9, 7,0 и 9,0).Стандартными методами определяли вязкость, активную кислотность, температуру водных растворов гуаровой камеди и прозрачность (коэффициент пропускания, T%). Математическую обработку данных с использованием регрессионного анализа проводили с помощью программы Statistica 12. Для анализа органолептических свойств применяли дескрипторно-профильный метод.

**Результаты:** Проведенные исследования свойств гуаровой камеди по показателям «активная кислотность» и «вязкость» указывали на смещение к нейтральному диапазону pH, вне зависимости от начальной pH среды. При интенсивности воздействия ультразвука до 50 Вт/см<sup>2</sup> не более 3 мин водный раствор гуаровой камеди сохранил свои стабилизирующие свойства при минимальной потере вязкости. Образцы с нейтральной средой отличались более плотным расположением частиц, чем образцы с кислой и щелочной средой.

**Выводы:** Исследование влияния ультразвука на свойства водного раствора гуаровой камеди показало, что при увеличении продолжительности обработки и интенсивности ультразвукового воздействия уменьшались как размер частиц гуаровой камеди, так и вязкость.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

водные растворы; гуаровая камедь; ультразвук; активная кислотность; вязкость; микроструктура

# Investigation of the Properties of Guar Gum after Ultrasonic Exposure at Different Acidity of Aqueous Solutions

Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russian Federation

**CORRESPONDENCE:**  
Kseniya N. Nitsievskaya  
E-mail: nitsievskayakn@sfsc.ru

**DATA AVAILABILITY:**  
Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

**FOR CITATIONS:**  
Nitsievskaya, K. N., Stankevich, S. V., Boroday, E. V., & Mazalevskiy, V. B. (2024). Investigation of the properties of guar gum after ultrasonic exposure at different acidity of aqueous solutions. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 37–50.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.506>

**RECEIVED:** 30.10.2023  
**REVISED:** 03.06.2024  
**ACCEPTED:** 15.06.2024  
**PUBLISHED:** 30.06.2024

**DECLARATION OF COMPETING INTEREST:** none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** The application of guar gum in the food industry for creating low-calorie products enables the preservation of structural characteristics similar to traditional counterparts. Various electrophysical methods, including ultrasound, are utilized to simulate viscosity and stabilize the product's texture. However, the effect of ultrasound on the stabilization of guar gum remains poorly understood.

**Purpose:** To investigate the effect of ultrasonic treatment on the properties of polysaccharide (guar gum) for its potential use in the production of food products with stable texture, such as jelly marmalade, pastilles, marshmallows, meat and fish jellies, puddings, and ice cream.

**Materials and Methods:** The study focused on the samples of aqueous solutions containing guar gum, with purified water used as the solvent at a ratio of 1:100. The samples underwent ultrasonic treatment for varying durations and pH levels. The behavior of guar gum in the aqueous medium under ultrasound at different pH values (3.9, 7.0, and 9.0) was analyzed. Key parameters such as viscosity, active acidity, temperature, and transparency (transmittance, T%) were measured using standard methods. Data analysis, including regression analysis, was performed using Statistica 12 software. The descriptor-profile method was employed to assess organoleptic properties.

**Results:** The study on the aqueous medium with guar gum, focusing on «active acidity» and «viscosity,» revealed a shift towards the neutral pH range, regardless of the initial pH. At ultrasound intensities up to 50 W/cm<sup>2</sup> for no more than 3 minutes, the aqueous medium with guar gum maintained its stabilizing properties with minimal loss of viscosity. Samples in a neutral medium exhibited a denser particle arrangement compared to those in acidic and alkaline media.

**Conclusion:** The investigation into the effect of ultrasound on the properties of guar gum in aqueous media demonstrated that both the size and density of guar gum particles decreased with increasing treatment duration and ultrasound intensity. This study provides insights into optimizing the use of guar gum for enhancing the texture stability of various food products.

## KEYWORDS

aqueous media; guar gum; ultrasound; active acidity; viscosity; microstructure

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время исследуется влияние ультразвукового воздействия на физические и биологические объекты (Зибарева, 2018; Dzah, 2020; Слободская, 2023).

Он используется в различных областях пищевой технологии, таких как кристаллизация, замораживание, отбеливание, дегазация, экстракция, сушка, фильтрация, эмульгирование, стерилизация (Калужина, 2024; Стремин, 2023). В качестве эффективного инструмента консервации ультразвук широко применяется в таких областях пищевой промышленности, как переработка фруктов и овощей, круп, меда, гелей, белков, ферментов, микробной инактивации, технологии производства продуктов питания и напитков и т.д. (Пушкирь, 2020; Абрамов, 2022). Ультразвук применяется при производстве термочувствительных продуктов питания, поскольку он сохраняет сенсорные, питательные и функциональные свойства, одновременно увеличивая срок хранения и микробную безопасность (Ультразвуковая технология, 2023; Цугленок, 2019; Елапов 2021).

Ультразвуковое воздействие, как метод технологической обработки известен низкой стоимостью и экологическим характером с различной областью применения, например, для гомогенизации или ускорения массообменных процессов инактивации антипитательных веществ (Carrillo-Lopez, 2017; Ashokkumar, 2008; John, 2019; Ситникова, 2023; Нициевская, 2023; Макаров, 2023).

Одним из путей сохранения здоровья людей является создание на научной основе полноценных продуктов питания, разработка технологий продуктов с функциональными ингредиентами, пищевыми волокнами<sup>1</sup>, витаминами, макро- и микроэлементами со стабильными реологическими характеристиками (Быков, 2021; Бойцова, 2015; Кувшинова, 2019; Rana, 2020).

В работах авторов (Арисов, 2022; Калугина, 2023; Брадис, 2022; Николаева, 2023) при разработке пищевой продукции со стабильной реологическими

использовали гуаровую камедь, что объясняется физико-химическими свойствами объекта. Гуаровая камедь — самый востребованный в мире источник галактоманнана, который после извлечения и переработки используется под названием гуаровая камедь (гуаран), в силу своей безопасности и нетоксичности, возможности получения из возобновляемых природных ресурсов, легко и в большом количестве доступный. Она находит широкое применение в качестве натурального загустителя, стабилизатора и уплотнителя в бумажной, текстильной, фармацевтической, пищевой, косметической отраслях промышленности, но особенно востребована в газонефтяной отрасли (Дзюбенко, 2023; Щербухин, 1999; Chudzikowski, 1971; Mudgil, 2014; Hasan, 2018; Pathak, 2015; Thombare, 2016).

Гуаровая камедь<sup>2</sup> обладает достаточной вязкостью и повышенной эластичностью, хорошо растворима в воде. Благодаря этим свойствам признаётся весьма эффективным эмульгатором и стабилизатором. При циклах замораживания и разморозки продуктов гуаровая камедь отличается хорошей устойчивостью, замедляет возникновение кристаллов льда, образуя структурированный гель. В целом, камеди являются сложными высокомолекулярными углеводами, не входящими в состав клеточной оболочки растений. В кишечнике они способны связывать соли тяжелых металлов и холестерин. (Berninger, 2021; Ахмедов, 2017).

Химический состав камедей неоднороден: они относятся к гетерополисахаридам (гексозаны, пентозаны, полиурониды). Гуаровая камедь хорошо диспергирует и набухает в холодной и горячей воде с образованием вязких коллоидных растворов. Высокая растворимость гуара объясняется наличием в составе его молекул часто чередующихся участков с боковыми цепями (Муханова, 2021). Гуаровая камедь, благодаря уникальным свойствам своих водных растворов и отсутствию токсичности, используется в качестве пищевых добавок, стабилизаторов, флокулянтов, загустителей и гелеобразователей в бинарных смесях (Дзюбенко, 2023; Неповинных, 2019; Hosseini, 2014).

<sup>1</sup> В группу пищевых волокон входят полисахариды – это обширная группа веществ разнообразной химической природы, имеющих полимерное строение, полученных из сырья растительного, животного или микробного происхождения.

<sup>2</sup> Согласно данным ботанико-фармакогностического словаря камедями считают продукты, выделяющиеся из надрезов и трещин растений или получаемые в результате их промышленной переработки, а также относятся препараты на основе полисахаридов, продуцируемых некоторыми видами микроорганизмов

Анализ научных работ указал на отсутствие знание в области влияния ультразвука на реологические свойства гуаровой камеди при различных pH водных растворов.

Целью данного исследования явилось изучение влияния ультразвукового воздействия на свойства водного раствора гуаровой камеди различного диапазона pH для дальнейшего ее использования в производстве пищевой продукции.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

Использовали водные растворы гуаровой камеди (Мастер Слим, Россия) — пищевая добавка Е412. Для уменьшения погрешности исследований в качестве растворителя применяли очищенную воду в диапазоне pH 3,9–9,0 при температуре  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  в соотношении 1:100. Кислотность водных растворов регулировали с использованием 0,1Н раствора соляной кислоты до pH = 3,9 и 0,1Н гидроокиси натрия до pH = 9,0.

### Оборудование

Весы аналитические марки Ohaus PA214 (Китай), низкочастотный ультразвуковой аппарат «Алена» модель УЗТА-0,2/22 (Россия), pH-метр марки Нитрон (Россия), термометр Testo 905-T1 (Германия) с погрешностью измерений  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ , вибровискозиметр серии SV-1A (Япония), микроскоп марки Carl Zeiss Stereo Discovery V8 с камерой Axio CamI Cc 5 и программным обеспечением ZEN (Германия),

### Инструменты

Стеклянная тара номиналом 100 см<sup>3</sup>, цилиндры мерные, дистиллированная вода, 0,1Н раствор соляной кислоты, 0,1Н гидроокись натрия, предметное стекло.

### Методы

Активную кислотность pH определяли ионометрическим методом. Исследование динамики вязкости проводили с использованием вибровискозиметра серии SV-1A (Япония). Исследование коэффициента пропускания с применением оптических ме-

тодов на фотоэлектроколориметре КФК-2. Математическую обработку данных с использованием регрессионного анализа проводили с помощью программ Statistica 12, опыты проводились в трехкратной повторности со статистической значимостью. Проверка адекватности уравнений регрессии проводили с применением F-критерия Фишера. Значимость коэффициентов регрессии оценивали с использованием t-критерия Стьюдента. За контролируемые параметры взяты следующие показатели: активная кислотность (pH, ед.), температура (t, °C), динамическая вязкость (mPa\*s), коэффициент пропускания (T%), размер частиц размерами (мкм). Для органолептического анализа применяли дескрипторно-профильный метод при сравнении образцов между собой, с учетом стандартной терминологии и методик по ГОСТ ISO 5492–2014, ГОСТ ISO 6658–2016, ГОСТ ISO 8587–2015, ГОСТ ISO 8586–2015, ГОСТ ISO 11036–2017, ГОСТ ISO 13299–2015.

### Процедура исследования

Обработку водных растворов в объеме 400 см<sup>3</sup> осуществляли с использованием низкочастотного ультразвукового аппарата «Алена», модель УЗТА-0,2/22 (Россия) в режиме  $22 \pm 1,65$  кГц с интенсивностью ультразвукового воздействия 50 и 100 Вт/см<sup>2</sup>, пробы отбирали в объеме 10 см<sup>3</sup> в интервале времени каждые 3 минуты, в процессе обработки температурный режим не превышал 50 °C. В результате отбора проб использовали следующую кодировку образцов для дальнейших исследований представленной в таблице 1.

Сначала изучали вязкость и активную кислотность без применения ультразвука, затем также оценивали влияние ультразвуковой обработки на изменение параметров водных растворов гуаровой камеди. Активную кислотность pH определяли ионометрическим методом с использованием pH-метра марки Нитрон (Россия), который был откалиброван по стандартным показателям буфера pH с погрешностью измерений  $\pm 0,05$  е.д. Измерения проводили в диапазоне температуры  $t = 21,0 \pm 1^\circ\text{C}$ . Температуру измеряли термометром Testo 905-T1 (Германия) с погрешностью измерений  $\pm 0,5^\circ\text{C}$ . Также проводили исследования для установления термообратимых свойств полученных водных растворов гуаровой камеди. Водные растворы подвергали охлаждению до температуры  $t = 4,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$  в течении 12 часов. Далее проводили анализ показателя «вяз-

**Таблица 1**

Кодировка образцов

<b>Водные растворы гуаровой камеди (<i>pH=7,0</i>)</b>	
УЗ.К.0	контрольный образец без обработки
УЗ.К.1	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.2	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.3	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.4	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.5	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.6	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см <sup>2</sup>
<b>Водные растворы гуаровой камеди (<i>pH=3,9</i>)</b>	
УЗ.К.К.0	контрольный образец без обработки
УЗ.К.К.1	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.К.2	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.К.3	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.К.4	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.К.5	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.К.6	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см <sup>2</sup>
<b>Водные растворы гуаровой камеди (<i>pH=9,0</i>)</b>	
УЗ.К.Щ.0	контрольный образец без обработки
УЗ.К.Щ.1	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.Щ.2	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.Щ.3	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 50 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.Щ.4	обработка 3 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.Щ.5	обработка 6 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см <sup>2</sup>
УЗ.К.Щ.6	обработка 9 мин, интенсивность воздействия 100 Вт/см <sup>2</sup>

кость», измеряли на аппарате вибровискозиметре серии SV-1A (Япония) в единицах измерений mPa<sup>\*s</sup>, откалиброванном согласно методике исследований с погрешностью измерений  $\pm 0,3$  mPa<sup>\*s</sup>. Математическую обработку данных с использованием регрессионного анализа проводили с помощью программы Statistica 12. Исследование влияния ультразвукового воздействия на водные растворы осуществляли с применением микроскопа марки Carl Zeiss Stereo Discovery V8 с камерой Axio Cam ICc 5 и программным обеспечением ZEN (Германия), микроструктуру водных растворов гуаровой камеди изучали при увеличении 60Х, подсчет частиц в диапазоне размеров частиц от 5 до 250 мкм. Прозрачность образцов проверяли посредством измерения коэффициента пропускания (T%) с использованием спектрометрии, с помощью прибора КФК-2 при длине волны 540 нм в кювете со слоем толщиной 10 мм (выбор данной длины волны объясняется чувствительностью к свету человеческим глазом в зелёной части спектра). В качестве эталонного раствора использовали очищенную воду.

## Анализ данных

Актуальность применения гуаровой камеди в производстве пищевых продуктов проводили согласно контент-анализу, использовали сайты — Scopus, Web of Science, Core Collection, Theme Journals, CASC, ProQuest Agricultural, EBSCO; отечественные базы: ЭК ГПНТБ СО РАН, ВИНТИ, НЭБ, Eastview, Агрос, РГБ, elibrary, Google Scholar.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Целью данного исследования являлось изучение влияния ультразвукового воздействия на свойства водных растворов гуаровой камеди для дальнейшего ее использования в производстве пищевой продукции.

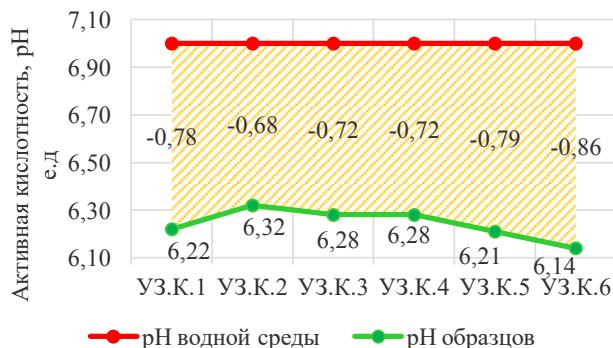
### Исследование вязкости и активной кислотности водных растворов гуаровой камеди

Проведенные исследования водных растворов гуаровой камеди по показателям «активная кислотность» и «вязкость» указывали на смещение к нейтральному диапазону pH, вне зависимости от начальной pH среды. Данный факт в дальнейшем необходим при моде-

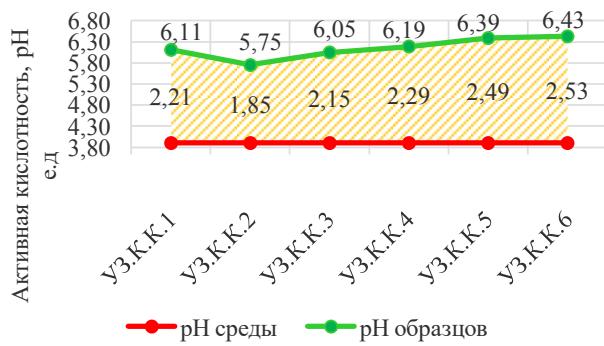
лировании продукции с заданным pH. Исследование динамики изменения кислотности водных растворов гуаровой камеди представили на Рисунке 1.

**Рисунок 1**

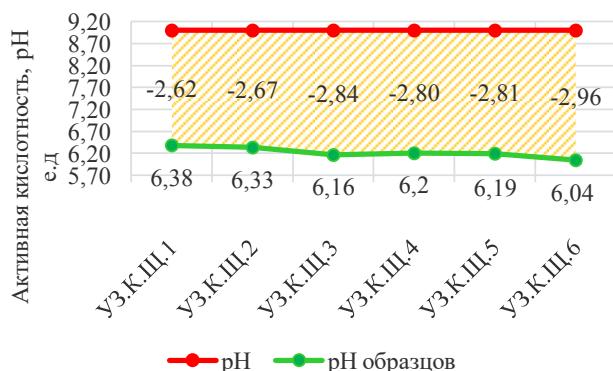
Исследование динамики кислотности в образцах водных растворов гуаровой камеди, при  $n=3$ ,  $p=0,90$ :



a)



б)



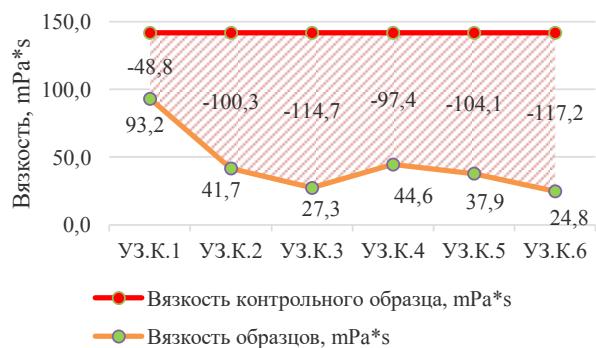
в)

Примечание. а) – с нейтральным pH; б) с кислым pH;  
в) с щелочным pH

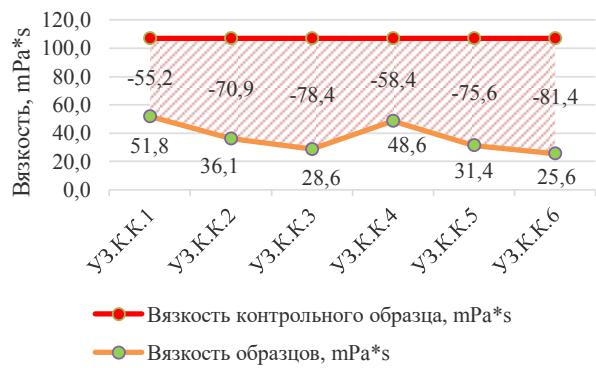
Графики исследования показателя «вязкость» (Рисунок 2) представили с отклонением от контрольных образцов.

**Рисунок 2**

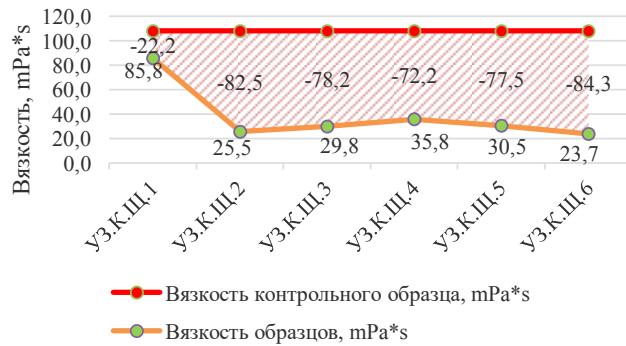
Исследование динамики вязкости в образцах водных растворов гуаровой камеди, при  $n=3$ ,  $p=0,90$



а)



б)



в)

Примечание. а) – с нейтральным pH; б) с кислым pH;  
в) с щелочным pH

В водных растворах гуаровой камеди с нейтральным pH контрольный образец (№ УЗ.К.0) имел значение 142,0 mPa\*s, дальнейшая динамика снижения при обработке 50 Вт/см<sup>2</sup>, составила 27,3 mPa\*s в образце № УЗ.К.3 и 24,8 – № УЗ.К.6. Постепенно снижающаяся динамика указывала на допустимое применение интенсивности воздействия до 50 Вт/см<sup>2</sup> не более 3 мин, тогда воздействие ультразвука было минимальным и водные растворы гуаровой камеди сохраняли свои стабилизирующие свойства при минимальной потере вязкости (образец № УЗ.К.1). Данные по анализу показателя «вязкость» в кислой и щелочной среде аналогичны в выборе допустимого уровня интенсивности воздействия (50 Вт/см<sup>2</sup> не превышающие длительность обработки более 3 минут), единственное отличие – начальная точка контрольного образца, так для кислой среды в образце № УЗ.К.К.0 – 107,0, в щелочной 108,0 (образец № УЗ.К.Щ.0).

Результаты регрессионного анализа зависимости вязкости (при  $x_1$  – продолжительность обработки, мин;  $x_2$  – интенсивность обработки, Вт/см<sup>2</sup>) имели вид уравнения:

– для водных растворов гуаровой камеди с нейтральной pH (7,0):

$$y = 134,70 - 8,36x_1 - 0,51x_2,$$

при  $R^2 = 0,91$ , F-критерий = 0,007.

– для водных растворов гуаровой камеди с кислой pH (3,9):

$$y = 95,70 - 5,73x_1 - 0,30x_2,$$

при  $R^2 = 0,89$ , F-критерий = 0,011.

– для водных растворов гуаровой камеди с щелочной pH (9,0):

$$y = 96,22 - 5,79x_1 - 0,28x_2,$$

при  $R^2 = 0,79$ , F-критерий = 0,070.

Водные растворы гуаровой камеди с нейтральной pH при анализе контрольного образца и ее дальнейшее изменение под действием ультразвука представлены в виде изменения показателя «вязкости» и органолептических характеристик.

### Исследование органолептических характеристик водных растворов гуаровой камеди

Изменения органолептических характеристик представлено на Рисунке 3.

Органолептический анализ образцов проводили дескрипторно-профильным методом по дескрипторам, представленным в Таблице 1.

Таблица 1

Наименование дескрипторов

	Характеристика текстуры		Характеристика цвета
ЭТ	эластичность текстуры	ПЦ	прозрачность цвета
ВТ	вязкая текстура	№	Характеристика вкуса и запаха
ЗТ	зернистость (однородность) текстуры	БФ	безвкусный флейвор
ПТ	плотность текстуры	СФ	слабый флейвор

Водные растворы гуаровой камеди при pH = 7,0 при интенсивности воздействия 50 Вт/см<sup>2</sup> имели отклонения от контрольного образца (№ УЗ.К.0):

– образец № УЗ.К.1 по дескриптору ЗТ – «однородность текстуры»;

– образец № УЗ.К.2 по показателям ЭТ – «эластичность текстуры», ВТ – «вязкая текстура», ЗТ – «зернистость текстуры», ПТ – «плотность текстуры»;

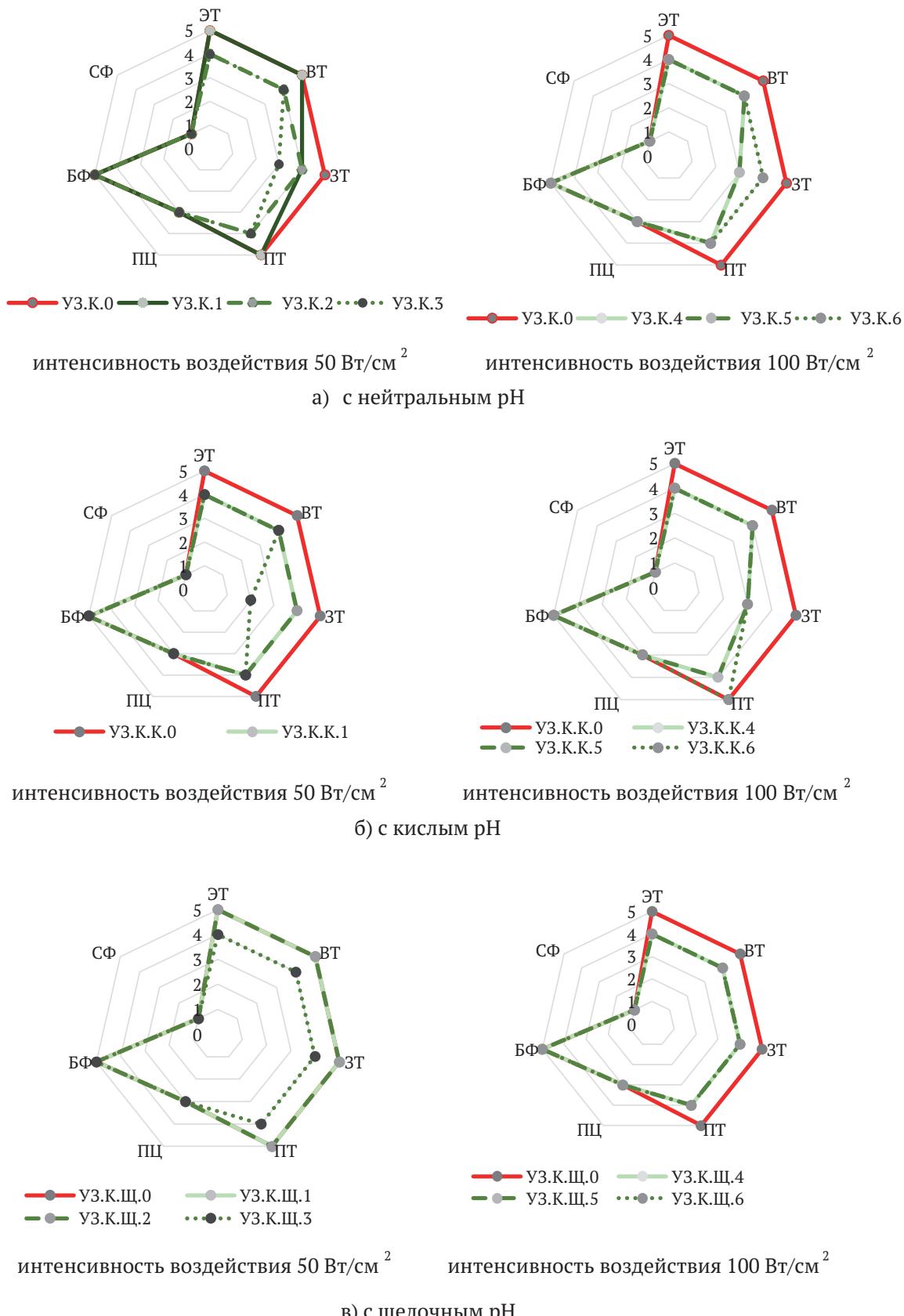
– образец № УЗ.К.3 аналогично образцу № УЗ.К.2 имел снижения баллов по упомянутым дескрипторам.

Водные растворы гуаровой камеди с pH = 7,0 при интенсивности воздействия 100 Вт/см<sup>2</sup> имели отклонения от контрольного образца (№ УЗ.К.0) во всех образцах (№ УЗ.К.4-УЗ.К.6) по показателям текстуры. При анализе данных исследования водных растворов гуаровой камеди оптимальным параметром обработки по органолептическим показателям являлась интенсивность воздействия 50 Вт/см<sup>2</sup> при обработке 3 минуты (образец № УЗ.К.1).

Водные растворы гуаровой камеди с pH = 3,9 при интенсивности воздействия 50 и 100 Вт/см<sup>2</sup> имели отклонения от контрольного образца (№ УЗ.К.К.0) по показателям текстуры (№ 1–4 согласно Таблице 1), за исключением образца № УЗ.К.Щ.1, полностью повторяющего дескрипторный профиль контрольного образца согласно полученным баллам.

**Рисунок 3**

Исследование изменения водных растворов гуаровой камеди после воздействия ультразвука, при  $n=3$ ,  $p=0,90$



## Исследования дисперсности водных растворов гуаровой камеди

Расчет средних размеров частиц в образцах показал, что с увеличением продолжительности обработки и интенсивности ультразвукового воздействия происходило последовательное измельчение частиц. Большиними и средними размерами при одинаковых параметрах обработки обладали частицы в образцах с кислой средой, меньшими с щелочной. Исследования дисперсности водных растворов гуаровой камеди представлены в Таблице 2.

Проведенное исследование микроструктуры показало, что в образцах без обработки наблюдались скопления частиц размерами до 200 мкм. В образцах №УЗ.К.3, УЗ.К.К.3 и УЗ.К.Щ.3 присут-

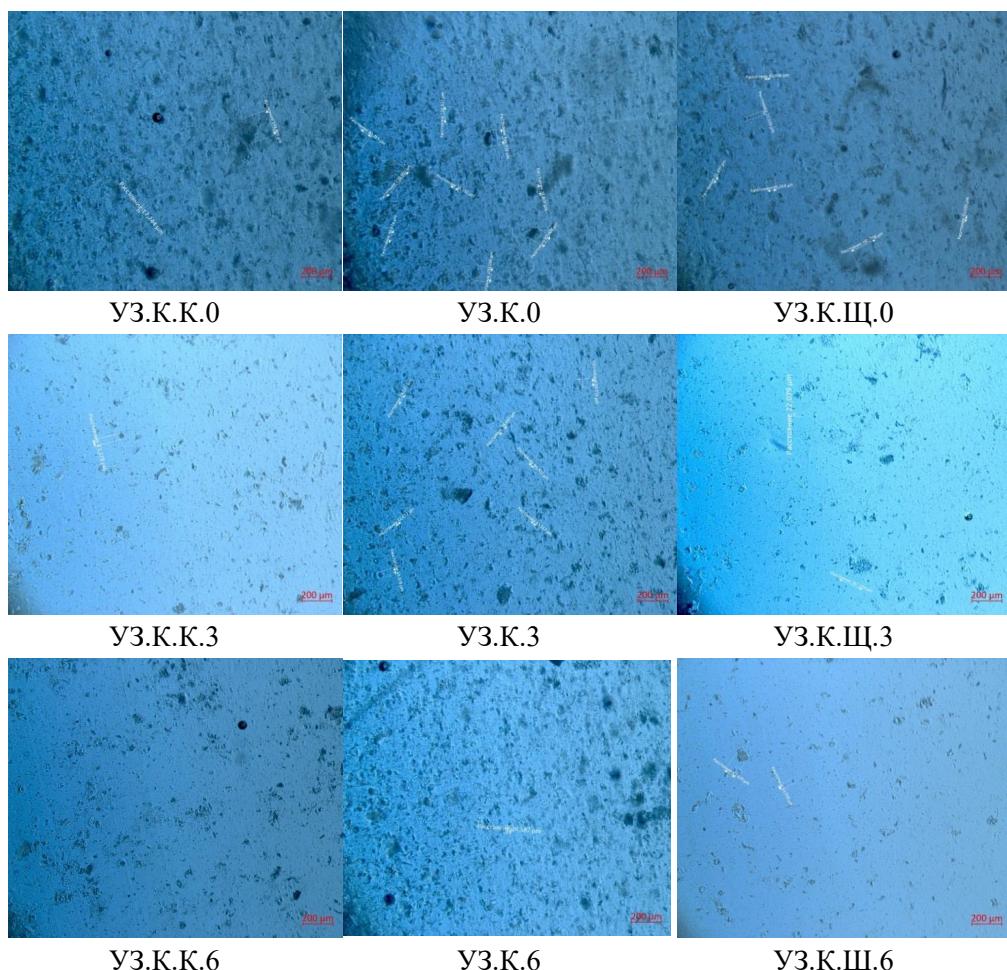
ствовали частицы с максимальными размерами до 150 мкм, в образцах УЗ.К.К.6, УЗ.К.6 и УЗ.К.Щ.6 можно рассмотреть конгломераты частиц размерами до 100 мкм. При увеличении продолжительности обработки и интенсивности ультразвукового воздействия уменьшался как размер, так и плотность расположения частиц. Образцы с нейтральной средой отличались более плотным расположением частиц, чем образцы с кислой и щелочной средой.

Результаты исследования микроструктуры образцов представлены на Рисунке 4.

Расчет средних размеров частиц в образцах водных растворов гуаровой камеди при различной pH представлен в Таблице 2.

**Рисунок 4**

Микроструктура водных растворов гуаровой камеди, при увеличении 60Х



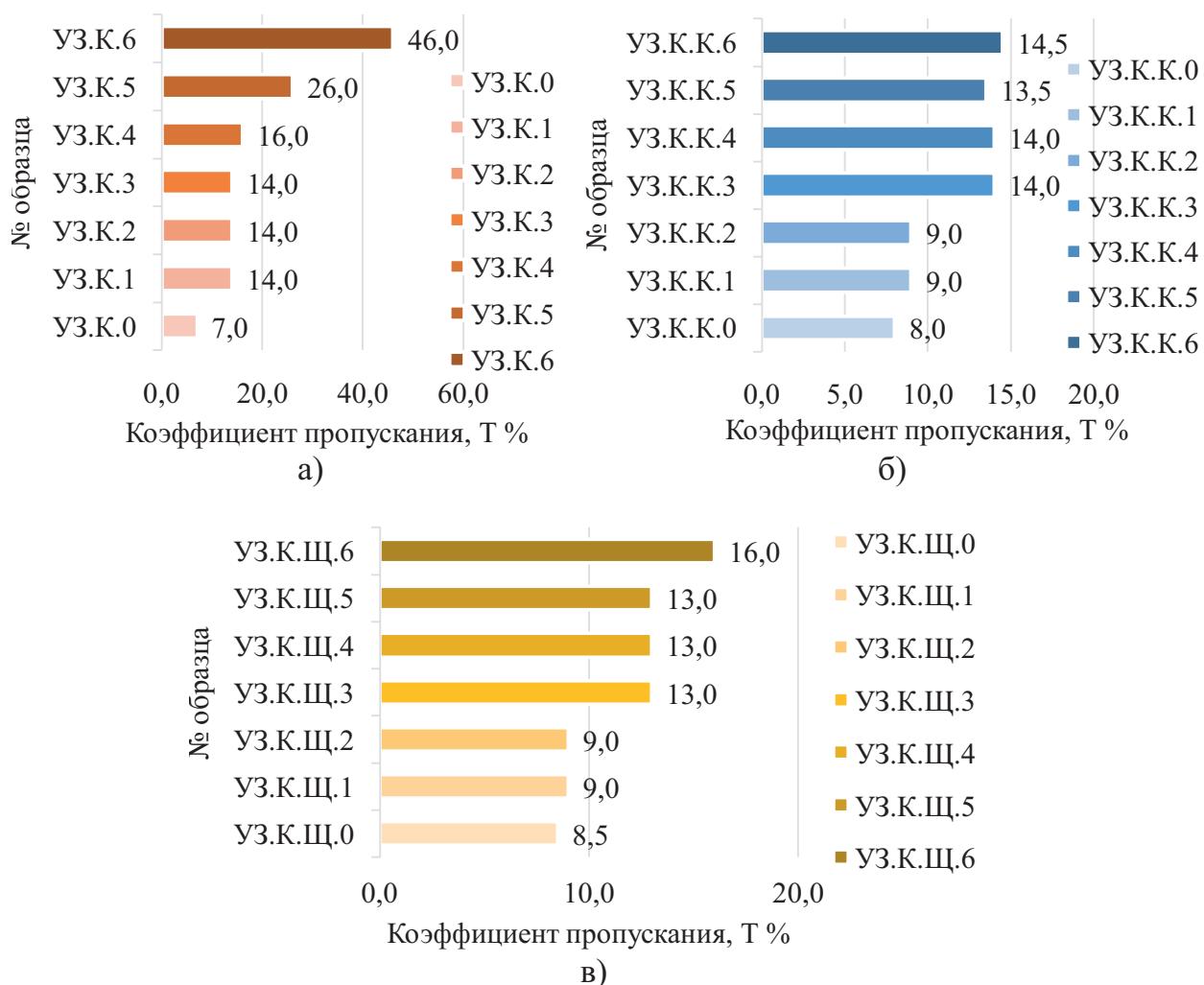
**Таблица 2**

Исследования дисперсности водных растворов гуаровой камеди

№ образца	Параметры обработки водных растворов		Размеры частиц, от 5 до 250 мкм		
	Продолжительность обработки, мин X1	Интенсивность ультразвукового воздействия, Вт/см <sup>2</sup> X2	с кислой рН (рН=3,9)	Масса творожника после жарения, г	Потери и прирост массы творожника после жарения, %
0	0	0	39	35	33
1	3	50	33	31	26
2	6	50	31	29	24
3	9	50	27	26	23
4	3	100	26	24	19
5	6	100	23	21	18
6	9	100	20	19	17

**Рисунок 5**

Динамика изменения коэффициента пропускания (T,%) водных растворов гуаровой камеди



Примечание: а – при рН = 7,0; б- при рН = 3,9; в – при рН = 9,0), при n = 3, p = 0,90

Результаты регрессионного анализа зависимости размера частиц от параметров обработки имели вид уравнения (3):

– для водных растворов гуаровой камеди с нейтральной pH (7,0):

$$y = 39,38 + 0,09x_1 - 0,07x_2 - 0,23x_3,$$

при  $R^2 = 0,99$ , F-критерий = 0,00025

– для водных растворов гуаровой камеди с кислой pH (3,9):

$$y = 37,75 - 1,19x_1 - 0,13x_2 + 0,13x_3,$$

при  $R^2 = 0,98$ , F-критерий = 0,0063

– для водных растворов гуаровой камеди с щелочной pH (9,0):

$$y = 33,53 - 0,27x_1 - 0,12x_2 - 0,04x_3,$$

при  $R^2 = 0,99$ , F-критерий = 0,00008

Инструментальный метод исследования показателей цветности представили в виде анализа коэффициента пропускания. Растворение гуаровой камеди в кислой и щелочной среде создавало более мутную цветность, снижая коэффициент пропускания при обработке 9 минут и интенсивности 100 Вт/см<sup>2</sup> для образца № УЗ.К.К.6 показатель составлял 14,5 % (кислая среда) и при той же обработке в образце № УЗ.К.Щ.6 до 16,0 % (щелочная среда). Динамика растворения коллоида в нейтральной среде происходила более интенсивно и составляла в образце № УЗ.К.6 – 46,0 %. При воздействии в параметрах с интенсивностью 50 Вт/см<sup>2</sup> различий между образцами практически не обнаружено – для сравнения: в образце № УЗ.К.3 – 14,0 %, в образце № УЗ.К.К.№ – 14,0 % и в образце № УЗ.К.Щ.3 – 13,0 %.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Цель исследования в изучении влияния ультразвукового воздействия на свойства водных растворов гуаровой камеди достигнута, проанализированы образцы по некоторым характеристикам. Результаты были ожидаемыми, так как природа ультразвукового воздействия является разрушающей, что описано в проведенных ранее исследованиях (Нициевская, 2023). Результаты исследований ультразвуковой обработки водных растворов гуаровой камеди различного диапазона pH показали, что допустимая интенсивность воздействия ультразвука для сохранения стабилизирующих свойств гуаровой камеди не должна превышать 50 Вт/см<sup>2</sup> с продолжительностью обработки не более 3 мин. Превышение заявленных технологических параметров обработки водных растворов приводит к снижению стабилизирующих свойств гуаровой камеди, данные результаты были неожиданными, так как в работах многих авторов доказана устойчивость пищевых систем при введении каррагинана в сыры (Калугина, 2023) или соусы (Брадис, 2022; Николаева, 2023). Неповинных (2019) при исследовании прочности ксантановой камеди параметр находился в пределах  $0,41 \pm 0,26$  МПа. В нашей работе исследовалась вязкость водных растворов с гуаровой камедью и максимальное значение вязкости отмечено в растворе с нейтральным pH (№УЗ.К.0) – 142,0 mPa\*s, дальнейшая обработка приводила к количественному снижению исследуемого показателя.

должительностью обработки не более 3 мин. Превышение заявленных технологических параметров обработки водных растворов приводит к снижению стабилизирующих свойств гуаровой камеди, данные результаты были неожиданными, так как в работах многих авторов доказана устойчивость пищевых систем при введении каррагинана в сыры (Калугина, 2023) или соусы (Брадис, 2022; Николаева, 2023). Неповинных (2019) при исследовании прочности ксантановой камеди параметр находился в пределах  $0,41 \pm 0,26$  МПа. В нашей работе исследовалась вязкость водных растворов с гуаровой камедью и максимальное значение вязкости отмечено в растворе с нейтральным pH (№УЗ.К.0) – 142,0 mPa\*s, дальнейшая обработка приводила к количественному снижению исследуемого показателя.

Анализ технологических свойств водных растворов с гуаровой камедью направлен на исследование размера частиц и динамику изменения коэффициента пропускания спектрофотометрически.

Основными ограничениями данного исследования являются отсутствие научных работ по влиянию ультразвукового воздействия на различные виды полисахаридов, используемых в пищевой промышленности. В основном работы с применением ультразвука направлены на экстракцию растительного сырья (Елапов, 2021; Абрамов, 2022; Стремин, 2023). Влияние ультразвука с целью создания стабильных водных растворов с использованием гуаровой камеди среди научных работ других авторов не выявлено. Эти ограничения могли повлиять на результативность проведенных исследований и объем сделанных выводов по теме исследования.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для достижения поставленной цели были исследованы водные растворы гуаровой камеди при различных режимах ультразвукового воздействия. Были проанализированы предыдущие исследования и обработаны данные по показателям – активная кислотность, вязкость органолептические характеристики и анализ дисперсности водных растворов. В ходе данного исследования было выявлено, что влияние ультразвуковой обработки свыше 50 Вт/см<sup>2</sup> с продолжительностью обработки не более 3 мин на водные растворы с гуаровой

камедью приводят к снижению стабилизирующих свойств используемого полисахарида. Основные исследования включали применение воздействия на водные растворы с гуаровой камедью в диапазоне от 50 до 100 Вт/см<sup>2</sup>. Полученные данные применимы при разработке технологии производства продуктов питания с использованием ультразвукового воздействия на стабилизирующие свойства.

Полученные результаты показывают, что применение ультразвука имеет ограниченные области использования при создании продукции с полисахаридами, вследствие изменения стабилизирующих свойств пищевых систем.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Нициевская Ксения Николаевна:** общее руководство исследованием; редактирование рукописи.

**Станкевич Светлана Владимировна:** проведение исследования; создание черновика рукописи; редактирование рукописи.

**Бородай Елена Валерьевна:** проведение исследования; валидация данных.

**Мазалевский Виктор Борисович:** проведение исследования; валидация данных.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Абрамов, В. О., Баязитов, В. М., Камлер, А. В., Федулов, И. С., Никонов, Р. В., Симоненко, С. В., & Симоненко, Е. С. (2022). Исследование влияния ультразвука на процесс экстракции полифенолов из виноградных косточек. *Пищевая промышленность*, 11, 88–92. <https://doi.org/10.52653/PP1.2022.11.11.020>
- Abramov, V. O., Bayazitov, V. M., Kamler, A. V., Fedulov, I. S., Nikonov, R. V., Simonenko, S. V., & Simonenko, E. S. (2022). Study of the influence of ultrasound on the process of extraction of polyphenols from grape seeds. *Food Industry*, 11, 88–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PP1.2022.11.11.020>
- Арисов, А. В., & Баурова, Я. Д. (2022). Разработка эмульсионных соусов в соответствии с запросами потребителей и оценка их качества. *Промышленность и сельское хозяйство*, 11(52), 6–14.
- Arisov, A. V., & Baurova, Ya. D. (2022). Development of emulsion sauces according to consumer requests and assessment of their quality. *Industry and Agriculture*, 11(52), 6–14. (In Russ.)
- Ахмедов, О. Р., Сохиназарова, Х. А., & Шомуротов, Ш. А. (2017). Биологически активные соединения на основе модифицированной ксантановой камеди. *Химия растительного сырья*, 3, 227–231. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031729>
- Akhmedov, O. R., Sokhibnazarova, Kh. A., & Shomurotov, Sh. A. (2017). Biologically active compounds based on modified xanthan gum. *Chemistry of Plant Raw Material*, 3, 227–231. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2017031729>
- Бойцова, Т. М., & Назарова, О. М. (2015). Обоснование условий экстракции полисахаридов из настоя семени льна. *Фундаментальные исследования*, 8(1), 14–18.
- Boytsova, T. M., & Nazarova, O. M. (2015). Justification extraction conditions of polysaccharides from infusions of linum usitatissimum. *Fundamental Research*, 8(1), 14–18. (In Russ.)
- Брадис, М. И., & Бутова, С. Н. (2022). Влияние ксантановой камеди и гуаровой камеди на качественные показатели соевой соусной основы. *Молодой ученый*, 23(418), 68–71.
- Bradis, M. I., & Butova, S. N. (2022). Influence of xanthan gum and guar gum on the quality indicators of soy sauce base. *Young Scientist*, 23(418), 68–71. (In Russ.)
- Быков, А. В., Рязанов, В. А., Нуржанов, Б. С., Шейда, Е. В., Левахин, Г. И., & Дускаев, Г. К. (2021). Изменение химического состава и переваримости сухого вещества подсолнечника при воздействии ультразвука. *Вестник Курганской ГСХА*, 4(40), 29–34. [https://doi.org/10.52463/22274227\\_2021\\_40\\_29](https://doi.org/10.52463/22274227_2021_40_29)
- Bykov, A. V., Ryazanov, V. A., Nurzhanov, B. S., Sheida, E. V., Levakhin, G. I., & Duskaev, G. K. (2021). Change in chemical composition and digestibility of sunflower dry matter under the influence of ultrasound. *Vestnik Kurganskoy GSHA*, 4(40), 29–34. (In Russ.) [https://doi.org/10.52463/22274227\\_2021\\_40\\_29](https://doi.org/10.52463/22274227_2021_40_29)
- Дзюбенко, Е. А., Сафронова, В. И., & Вишнякова, М. А. (2023). Селекция гуара в Российской Федерации в связи с перспективой производства отечественной камеди (обзор). *Сельскохозяйственная биология*, 58(1), 43–59. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.43rus>
- Dzyubenko, E. A., Safronova, V. I., & Vishnyakova, M. A. (2023). Objective of guar breeding in the Russian Federation in connection with the prospects of domestic guar gum production (Review). *Agricultural Biology*, 58(1), 43–59. (In Russ.) <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.43rus>
- Елапов, А. А., Кузнецов, Н. Н., & Марахова, А. И. (2021). Применение ультразвука в экстракции биологически активных соединений из растительного сырья, применяемого или перспективного для применения в медицине. *Разработка и регистрация лекарственных*

- средств, 10(4), 96–116. <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-4-96-116>
- Elapov, A. A., Kuznetsov, N. N., & Marakhova, A. I. (2021). The use of ultrasound in the extraction of biologically active compounds from plant raw materials, used or promising for use in medicine (Review). *Drug Development & Registration*, 10(4), 96–116. (In Russ.) <https://doi.org/10.33380/2305-2066-2021-10-4-96-116>
- Зибарева, Л. Н., & Филоненко, Е. С. (2018). Влияние ультразвукового воздействия на экстракцию биологически активных соединений растений семейства Caryophyllaceae. *Химия растительного сырья*, 2, 145–151. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018023703>
- Zibareva, L. N., & Filonenko, E. S. (2018). The influence of ultrasonic treatment on the extraction of biologically active compounds of plants of the family Caryophyllaceae. *Chemistry of Plant Raw Material*, 2, 145–151. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018023703>
- Калугина, О. И., Потанина, А. С., Курбанова, М. Г., & Крюк, Р. В. (2023). Реологические характеристики имитационного сыра. *Ползуновский вестник*, 2, 124–130. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.016>
- Kalugina, O. I., Potanina, A. S., Kurbanova, M. G., & Kryuk, R. V. (2023). Imitation of a cheese product and its realogical characteristics. *Polzunovskiy Vestnik*, 2, 124–130. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.016>
- Калужина, О. Ю., Гусев, А. Н., Багаутдинов, И. И., Вахмин, В. С., Заграничная, А. Д., & Лукин, А. А. (2024). Влияние ультразвука на дрожжи-сахаромицеты. *Пиво и напитки*, 1, 28–32. <https://doi.org/10.52653/PIN.2024.01.04>
- Kaluzhina, O. Yu., Gusev, A. N., Bagautdinov, I. I., Vokhmin, V. S., Zagranichnaya, A. D., & Lukin, A. A. (2024). Assessment of the suitability of high-protein varieties of cereals for use in the production of fermented grain drinks. *Pivo i Napitki*, 1, 28–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.52653/PIN.2024.01.04>
- Кувшинова, О. А., & Репин, А. Д. (2019). Результаты осветления яблочного сока ультразвуком. *Иновации в сельском хозяйстве*, 2(31), 244–250.
- Kuvshinova, O. A., & Repin, A. D. (2019). Results of apple juice clarification with ultrasound. *Innovations in Agriculture*, 2(31), 244–250. (In Russ.)
- Макаров, Д. В., Моргунова, Н. Л., Рудик, Ф. Я., Фоменко, О. С., & Семилет, Н. А. (2023). Разработка установки для инактивации зерна сои ультразвуком. *Агропромышленные технологии Центральной России*, 3(29), 116–128. <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-29-116-128>
- Makarov, D. V., Morgunova, N. L., Rudik, F. Ya., Fomenko, O. S., & Semilet, N. A. (2023). Development of a unit for soy grain inactivation by ultrasound. *Agro-Industrial Technologies of Central Russia*, 3(29), 116–128. (In Russ.) <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2023-29-116-128>
- Муханова, М. А., Якубова, О. С., Бекешева, А. А., & Айзатуллина, Н. Р. (2021). Сравнительная характеристика камедей и перспективы их применения для загущения соусов. *Индустрия питания*, 6(3), 58–68. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-7>
- Mukhanova, M. A., Yakubova, O. S., Bekesheva, A. A., & Aizatulina, N. R. (2021). Guar comparative characteristics and prospects of their use for sauces gelation. *Food Industry*, 6(3), 58–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-3-7>
- Неповинных, Н. В., Петрова, О. Н., Белова, Н. М., & Еганеҳзад, С. (2019). Исследование физико-химических и текстурных свойств желированных десертов без желатина. *Техника и технология пищевых производств*, 49(1), 43–49. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-43-49>
- Nepovinnikh, N. V., Petrova, O. N., Belova, N. M., & Eganehzad, S. (2019). Physico-chemical and texture properties of gelatin-free jelly desserts. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(1), 43–49. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-43-49>
- Николаева, Ю. В., & Нечаева, А. В. (2023). Производство майонезного соуса на основе гуаровой камеди. *Молодой ученый*, 20(467), 128–130.
- Nikolaeva, Yu. V., & Nechaeva, A. V. (2023). Production of mayonnaise sauce based on guar gum. *Young Scientist*, 20(467), 128–130. (In Russ.)
- Нициевская, К. Н., Станкевич, С. В., & Бородай, Е. В. (2023). Влияние ультразвукового воздействия на свойства йота-каррагинана и гуаровой камеди. *Техника и технология пищевых производств*, 53(2), 357–367. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2441>
- Nitsievskaya, K. N., Stankevich, S. V., & Boroday, E. V. (2023). Ultrasound treatment of iota-carrageenan and guar gum, 53(2), 357–367. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2441>
- Пушкарь, А. А., Штепа, В. Н., Кулаковская, В. И., & Соловьев, В. В. (2020). Способ снижения белковой нагрузки на пивное сусло путем применения процессов электрокоагуляции и ультразвука. *Пивоваренное производство: наука и технологии*, 4(50), 70–79. [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4\(50\)-70-79](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4(50)-70-79)
- Pushkar, A. A., Shtepa, V. N., Kulakovskaya, V. I., & Solovyev, V. V. (2020). Method of reducing protein load on beer wort by applying electrocoagulation and ultrasound processes. *Food Industry: Science and Technology*, 4(50), 70–79. (In Russ.) [https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4\(50\)-70-79](https://doi.org/10.47612/2073-4794-2020-13-4(50)-70-79)
- Ситникова, П. Б. (2023). Исследование вязкости гуаровой камеди на разных этапах технологического процесса производства мороженого. Эффективное обеспечение научно-технического прогресса: исследование задач и поиск решений. *Сборник статей Международной научно-практической конференции*. Уфа: Аэтерна.
- Sitnikova, P. B. (2023). Study of the viscosity of guar gum at different stages of the technological process of ice cream production. Effective support of scientific and technical progress: Task research and solution search. In *Collection of articles of the international scientific and practical conference*. Ufa: Aeterna. (In Russ.)

- Слободская, А. А., Семина, Е. С., Янгазитов, А. А., & Зинган, А. М. (2023). Применение ультразвука в сельском хозяйстве. *Вестник Совета молодых ученых Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева*, 1(17), 90–95.
- Slobodskova, A. A., Semina, E. S., Yangazitov, A. A., & Zingan, A. M. (2023). Application of ultrasound in agriculture. *Herald of the Council of Young Scientists of the Ryazan State Agrotechnological University named after P. A. Kostychev*, 1(17), 90–95. (In Russ.)
- Стремин, А. А., & Федоренко, Б. Н. (2023). Использование ультразвука для ускорения экстракции в пищевой промышленности. *Вестник науки*, 5(62), 725–730.
- Stremin, A. A., & Fedorenko, B. N. (2023). Use of ultrasound to accelerate extraction in the food industry. *Herald of Science*, 5(62), 725–730. (In Russ.)
- Цугленок, Н. В. (2019). Анализ эффективного использования электрофизических методов обработки семян. *Вопросы науки и образования*, 21(68), 46–59.
- Tsuglenok, N. V. (2019). Analysis of the effective use of electrophysical methods of seed processing. *Issues of Science and Education*, 21(68), 46–59. (In Russ.)
- Щербухин, В. Д., & Анулов, О. В. (1999). Галактоманнаны семян бобовых (обзор). *Прикладная биохимия и микробиология*, 35(3), 257–274.
- Shcherbuhin, V. D., & Anulov, O. V. (1999). Galactomannans of legume seeds (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 35(3), 257–274. (In Russ.)
- Ashokkumar, M., Sunartio, D., Kentish, S., Mawson, R., Simons, L. & Vilkhui, K., Versteeg, C. (2008). Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2), 155–160. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.05.005>
- Berninger, T., Dietz, N., & González López, Ó. (2021). Water-soluble polymers in agriculture: xanthan gum as eco-friendly alternative to synthetics. *Microbial Biotechnology*, 14(5), 1751–7915 <https://doi.org/10.1111/1751-7915.13867>
- Carrillo-Lopez, L. M., Alarcon-Rojo, A. D., Luna-Rodriguez, L., & Reyes-Villagrana, R. (2017). Modification of food systems by ultrasound. *Hindawi Journal of Food Quality*, 5794931. <https://doi.org/10.1155/2017/5794931>
- Chudzikowski, R.J. (1971). Guar gum and its applications. *Journal of the Society of Cosmetic Chemists*, 22, 43–60.
- Dzah, C. S., Duan, Y., Zhang, H., Wen, C., Zhang, J., Chen, G., & Ma, H. (2020) The effects of ultrasound assisted extraction on yield, antioxidant, anticancer and antimicrobial activity of polyphenol extracts: A review. *Food Bioscience*, 35, 100547. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2020.100547>
- Hasan, A. M. A., & Abdel-Raouf, M. E. (2018). Applications of guar gum and its derivatives in petroleum industry: A review. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(4), 1043–1050. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2018.03.005>
- Hosseini, M., Habibi, Najafi, M., & Mohebbi, M. (2014) Modification in the functional properties of sodium caseinate-based imitation cheese through use of whey protein and stabilizer. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 6, 1313–1324.
- John, I., Pola, J., & Appusamy, A. (2017). Optimization of ultrasonic assisted saccharification of sweet lime peel for bioethanol production using box – Behnken method. *Waste and Biomass Valorization*, 10, 441–453. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-0072-1>
- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2014). Guar gum: Processing, properties and food applications – A review. *Journal of Food Science and Technology*, 51, 409–418. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0522-x>
- Pathak, R. (2015). Clusterbean gum and by-product. *Clusterbean: physiology, genetics and cultivation* (pp. 33–60). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-907-3-3>
- Rana, S., & Upadhyay, L.S.B. (2020). Microbial exopolysaccharides: Synthesis pathways, types and their commercial applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 157(9), 577–583. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.084>
- Thombare, N., Jha, U., Mishra, S., & Siddiqui, M. Z. (2016). Guar gum as a promising starting material for diverse applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 88, 361–372. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.04.001>

# Разработка способа получения нового штамма дрожжей для спиртовой промышленности

О. Ю. Калужина<sup>1</sup>, С. А. Леонова<sup>1</sup>, Е. А. Кузнецова<sup>2</sup>, Р. Р. Латыпова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Башкирский государственный аграрный университет, г. Уфа, Республика Башкортостан

<sup>2</sup> Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева, г. Орел, Российская Федерация

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**  
Олеся Юрьевна Калужина  
E-mail: 216322705@mail.ru

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:**  
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**  
Калужина, О.Ю., Леонова, С.А., Кузнецова, Е.А., & Латыпова, Р.Р. (2024). Разработка способа получения нового штамма дрожжей для спиртовой промышленности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(2), 51–66.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.543>

**ПОСТУПИЛА:** 11.09.2023  
**ДОРАБОТАНА:** 05.06.2024  
**ПРИНЯТА:** 15.06.2024  
**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.06.2024

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**  
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Спиртовая промышленность относится к биотехнологической отрасли, основанной на применении дрожжей-сахаромицетов, основной целью которых является превращение субстрата питательной среды в спирт. Одним из путей интенсификации таких этапов технологии, как дрожжегенерирование и брожение, является поиск новых перспективных штаммов дрожжей, адаптированных к местному сырью.

**Цель:** Разработать способ получения нового штамма спиртовых дрожжей для сбраживания зерна тритикале, обладающего высокой бродильной активностью и термотолерантными свойствами.

**Материалы и методы:** Объектом исследования являются производственные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, отобранные со стационарной фазы роста из аппаратов чистых культур на спиртовом заводе ЗАО «Башспирт». Для проведения исследования применялась ультразвуковая установка Nordberg NU 20 с частотой ультразвуковых волн 22 кГц. Для приготовления сусла применялась тритикале озимая сорта Башкирская короткостебельная. Изучен ее физико-химический состав и приготовлено сусло по механико-ферментативной схеме на миниспиртовой установке в учебно-производственной лаборатории ФГБОУ ВО Башкирского ГАУ. Для выведения и размножения чистой культуры применялся комбинированный метод Пастера и Коха, который предусматривает многоступенчатое разведение культуры и посев на твердые питательные среды. Полученные штаммы дрожжей прошли идентификацию и патентное депонирование в ВКПМ Биоресурсного Центра НИЦ «Курчатовский институт».

**Результаты:** На основании проведенных исследований разработан способ получения нового штамма спиртовых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* УЗ-55 с применением ультразвука и экстракта дрожжей.

**Выводы:** Выденный штамм позволяет повысить выход спирта на 2,05 % и снизить количество примесей в зрелой бражке в 1,19 раз по сравнению с контролем при повышенных температурах брожения 33–37 °C.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

спирт этиловый ректифицированный; спиртовые дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*; ультразвук; дрожжевой экстракт

# Development of a Method for Obtaining a New Yeast Strain for the Alcohol Industry

Olesya Y. Kaluzhina<sup>1</sup>, Svetlana A. Leonova<sup>1</sup>, Elena A. Kuznetsova<sup>2</sup>, Ruzalina R. Latypova<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bashkir State Agrarian University,  
Ufa, Republic of Bashkortostan

<sup>2</sup> I.S. Turgenev Orel State University,  
Orel, Russian Federation

## CORRESPONDENCE:

Olesya Yu. Kaluzhina  
E-mail: 216322705@mail.ru

## DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

## FOR CITATIONS:

Kaluzhina, O.Yu., Leonova, S.A., Kuznetsova, E.A., & Latypova, R.R. (2024). Development of a method for obtaining a new yeast strain for the alcohol industry. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 51–66.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.543>

RECEIVED: 11.09.2023

REVISED: 05.06.2024

ACCEPTED: 15.06.2024

PUBLISHED: 30.06.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

## ABSTRACT

**Introduction:** The alcohol industry is a biotechnological sector based on the use of *Saccharomyces* yeast, whose main goal is to convert the substrate of the nutrient medium into alcohol. One way to intensify such technological stages as yeast generation and fermentation is to search for new promising yeast strains adapted to local raw materials.

**Purpose:** To develop a method for obtaining a new strain of alcohol yeast for fermenting triticale grain, possessing high fermentation activity and thermotolerant properties.

**Materials and Methods:** The study focuses on the *Saccharomyces cerevisiae* production yeast selected from the stationary growth phase from pure culture apparatus at the Bashspirt distillery. The study was conducted using the Nordberg NU 20 ultrasonic installation with an ultrasonic wave frequency of 22 kHz. Triticale winter wheat variety Bashkirskaya Korotkostebel'naya was used to prepare the wort. Its physicochemical composition was studied and the wort was prepared using a mechanical-enzymatic scheme at a mini-distillery installation in the training and production laboratory of Bashkir State Agrarian University. A combined Pasteur and Koch method, involving multistage culture dilution and inoculation on solid nutrient media, was used for the isolation and propagation of pure cultures. The obtained yeast strains were identified and patent-deposited in the Russian National Collection of Industrial Microorganisms of Bioresource Center at the Kurchatov Institute National Research Center.

**Results:** Based on the conducted research, a method for obtaining a new strain of *Saccharomyces cerevisiae* alcohol yeast UZ-55 using ultrasound and yeast extract was developed.

**Conclusion:** The developed strain allows for a 2.05 % increase in alcohol yield and a 1.19 times reduction in the amount of impurities in the mature mash compared to the control at elevated fermentation temperatures of 33–37 °C.

## KEYWORDS

rectified ethyl alcohol; alcohol yeast *Saccharomyces cerevisiae*; ultrasound; yeast extract



## ВВЕДЕНИЕ

Качество спирта этилового ректифицированного из пищевого сырья должно отвечать требованиям стандарта (ГОСТ 5962–2013)<sup>1</sup>, согласно которым для выпуска спирта сортов «Люкс» и «Альфа» должно применяться не только качественное зерновое сырье (Крикунова, 2011)<sup>2</sup>, но и расы дрожжей, обладающие необходимыми морфологическими и физиологическими признаками (Цед, 2021). Выбор подходящих штаммов дрожжей важен не только для максимизации выхода спирта, но и для поддержания сенсорных качеств напитка (Walker & Stewart, 2016). Существует большое разнообразие промышленных штаммов *S. cerevisiae*, и для разработки новых улучшенных штаммов важно выбрать исходный штамм с наиболее подходящим физиологическим фоном клетки (Walker & Walker, 2018).

Наиболее известные расы спиртовых дрожжей представлены в Таблице 1.

Применение чистых культур дрожжей в производстве позволяет повысить качество спирта и его выход. Спиртовые дрожжи должны обладать высокой бродильной активностью, устойчивостью к повышенным температурам и концентрациям сухих веществ сбраживаемого сусла (Оверченко, 2017). Получение новых штаммов дрожжей проводится методами многоступенчатой селекции, к которым можно отнести отбор наиболее продуктивных промышленных рас, с последующим исследованием их изменчивости в экстремальных условиях на жидких питательных средах и выделением монокультур путем посева на твердые питательные среды. Также селекцию можно проводить с применением химического или физического воздействия на дрожжи, для выведения и отбора отдельных активных вариантов и популяций, с последующим тестированием по признакам термотolerантности и осмофильности (Кузнецова, 2016; Давыденко, 2012).

Существует ряд работ, исследовавших влияние различных физических факторов на выход спир-

Таблица 1

Характеристика спиртовых дрожжей

Род, вид, раса	Форма и размер клеток	Способны ассимилировать	Не способны ассимилировать	t, °C/pH
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> XII	округлая или овальная 5–6,2 · 5–8 мкм			29–35/ 3,8–4,2
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> M	округлая, яйцевидная, эллипсоидная 5,6–10,6 · 6,2–11,2 мкм	глюкозу, фруктозу, галактозу, мальтозу, сахарозу, рафинозу на 1/3, глицерин, молочную и уксусную кислоту, мочевину и аминокислоты	лактозу, инулин, ксилизу, рабинозу, декстрину, крахмал, маннит, сорбит, дульцит, янтарную, яблочную, винную и лимонную кислоты	29–32, 3,8–4,2
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> Г-660	мелкая, удлиненная 1,8 · 1,3 мкм			30/3,8–4,2
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> K-81	округлая или овальная форму, 6,5 · 7,3 мкм			32–34/ 3,8–4,2
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> Y-717	вытянутая, реже округлая, 3,0 · 6,5 мкм	декстрин, глюкозу фруктозу, мальтозу, сахарозу, рафинозу на 1/3, глицерин, молочную и уксусную кислоту, мочевину и аминокислоты		18–36/ 3,8–4,2
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> 985-T	крупная, яйцевидная, овальная или удлиненная 7,0–10,0 · 5,0–7,5 мкм	глюкозу, галактозу, мальтозу, сахарозу, рафинозу на 1/3	лактозу, инулин, ксилизу, рабинозу, крахмал	30–38/ 3,8–4,2
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> 987-O				30/3,8–4,2

Примечание. Адаптировано из Римарева (2010).

<sup>1</sup> ГОСТ 5962–2013 (2023) Спирт этиловый ректифицированный из пищевого сырья. Технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>2</sup> Патент № 2473693 С1 Российская Федерация, МПК C12P 7/06. Способ производства этилового спирта из крахмалсодержащего сырья: № 2011148976/10: заявл. 02.12.2011: опубл. 27.01.2013 / Л. Н. Крикунова, М. Э. Сидякин, В. Я. Черных [и др.].

та. Физическая активация включает термическую, световую, радиационную, электрическую, электромагнитную или акустическую обработку биологических объектов. Использование этих методов в настоящее время расширяется, поскольку они доступны и экологически безопасны: оказывают гораздо меньшую нагрузку на продукт и окружающую среду (Permyakova et al., 2023). Так, Ferreira et al. (2019) показали, что последовательные циклы ферментации в условиях субатмосферного давления (15 и 25 МПа) могут стимулировать адаптацию к давлению и увеличить скорость, выход и продуктивность спиртового брожения. Исследователи из университета Сарагосы осуществляли обработку биомассы дрожжей импульсным электрическим полем и показали, что для инактивации дрожжей требуются электрические поля напряженностью выше 10 кВт/см (Berzosa et al., 2023). Наиболее эффективной считается обработка ультразвуком (Soro et al., 2021; Talal, 2011).

В процессе выведения чистых культур дрожжей также нужно обратить внимание на подбор полноценной питательной среды для поддержания жизнедеятельности дрожжей и их размножения. Для производства спирта сортов «Экстра», «Люкс» и «Альфа» необходимо не только качественное зерновое сырье и вода, но и правильный подбор рас дрожжей, способных более полно сбраживать углеводы и выдерживать повышенные температуры. Одним из способов селекции новых штаммов является отбор из производственных сред наиболее сильных по морфологическим и физиологическим признакам дрожжей и воздействие физических мутагентов, с последующим выделением активных вариантов и их тестированием по признаку термофильности (Римарева, 2010).

Несмотря на то, что ультразвук применяется в пищевой промышленности уже более 50 лет и доказано, что ультразвуковые колебания способны улучшать качество пищевых продуктов и технологические процессы их производства (Бурнышева, 2022; Разинькова, 2021; Стремин, 2023), механизм воздействия параметров ультразвука на возникновение и характер мутаций спиртовых дрожжей практически не изучен. Разработать способ получения нового штамма спиртовых дрожжей

Целью данного исследования является изучение мутогенного воздействия ультразвука, повы-

шающего термотолерантные свойства и тем самым обеспечивающего получение нового штамма спиртовых дрожжей для сбраживания зерна трикале, обладающего высокой бродильной активностью.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

Объект исследования — производственные дрожжи *Saccharomyces cerevisiae*, отобранные со стационарной фазы роста из аппаратов чистых культур на спиртовом заводе ЗАО «Башспирт».

### Оборудование

Для проведения исследования применялась ультразвуковая установка Nordberg NU 20, снабженная одним преобразователем. Мощность нагрева — 200 Вт. Мощность ультразвука — 80 Вт. Максимальная температура нагрева — 80 °С. Частота ультразвуковых волн — 22 кГц (Фото 1). Год выпуска — 2020.

### Методы

Подсчет количества мертвых клеток в дрожжевой супензии производили при помощи микроскопа и раствора метиленовой сини, окрашивающей мертвые клетки в синий цвет.

Определение содержания гликогена в клетках дрожжевой супензии производили под микроскопом при 100-кратном увеличении, после окрашивания образца 0,5 %-ным раствором йода.

Определение процентного содержания почекущихся клеток производили под микроскопом при 100-кратном увеличении, проводя подсчет общего количества клеток, в том числе почекущихся, в пяти полях зрения.

Определение общего количества клеток проводили при помощи камеры Горяева.

Определение pH сусла проводили на универсальном иономере марки ЭВ-7.

Качество тритикале и тритикалевого сусла определяли согласно требованиям ГОСТ 34023–2016<sup>3</sup> и ГОСТ Р 52673–2006<sup>4</sup> соответственно.

Содержание летучих примесей в дистилляте зрелой бражки проводили на газовом хроматографе согласно ГОСТ 30536–97<sup>5</sup>.

## Процедура исследования

Для приготовления сусла применялась тритикале озимая Башкирская короткостебельная физико-химические показатели которой представлены в Таблице 2. Тритикале достаточно давно применяется для производства спирта как менее дорогая альтернатива пшенице (Wang, 1997).

**Таблица 2**

Физико-химические и микробиологические показатели тритикале

Показатели	Количество
Влажность зерна, %	13,9
Крахмал, %	54,0
Содержание сахара, %	3,1
Условная крахмалистость (на абсолютно сухой вес), %	62
Массовая доля растворимых углеводов, %	4,6
Массовая доля сухого жира, %	1,6
Массовая доля сухой золы, %	1,62
КМАФАНнМ, КОЕ, г	5,0•10 <sup>4</sup>
Количество условного крахмала, взятое на приготовление сусла, кг	1,326

Качество исследуемого зерна тритикале соответствует требованиям ГОСТ 34023–2016<sup>6</sup>. Влажность 13,9% соответствует сухому зерну, в котором все жизненные процессы сведены к минимуму. Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, которые характеризуют свежесть и безопасность зерна, находятся в пределах нормы.

Сусло готовили по механико-ферментативной схеме, с применением дополнительного разва-

ривания сырья при температуре до 120°C для подавления посторонней микрофлоры. Подготовку сусла и проведение этапа брожения осуществляли на миниспиртовой установке в учебно-производственной лаборатории ФГБОУ ВО Башкирского ГАУ (Фото 1). Данная установка позволяет получать зерновое сусло с последующим его сбраживанием, получением спирта-сырца, а также ректифицированного спирта 96,3% об.

### Фотография 1

Универсальный миниспиртзавод



Замесы для проведения эксперимента готовили из тонкого помола зерна тритикале с 90–95 % проходом через сито диаметром 1 мм. Помол зерна смешивали с подогретой до 40–45 °C водопроводной водой в соотношении 1:3,5 и выдерживали 10–15 минут. Полученный замес подваривали при тщательном перемешивании и затем подогревали до 68–73 °C, после чего вносили ферментные препараты разжижающего действия. Выдерживали при данной температуре в течение 2–2,5 часов, доводили температуру до 95–100 °C и выдерживали 30–40 минут. Затем охлаждали до температуры

<sup>3</sup> ГОСТ 34023–2016 (2023) Тритикале. Технические условия. М.: Стандартинформ.

<sup>4</sup> ГОСТ Р 52673–2006 (2023) Спирт этиловый из пищевого сырья. Термины и определения. М.: Стандартинформ.

<sup>5</sup> ГОСТ 30536–97 (2023) Водка и спирт этиловый. Газохроматографический метод определения содержания токсичных микропримесей. М.: Стандартинформ.

<sup>6</sup> ГОСТ 34023–2016 (2023) Тритикале. Технические условия. М.: Стандартинформ.

58–60 °С, добавляли ферментный препарат осахаривающего действия и проводили осахаривание в течение 30 минут. Окончание процесса осахаривания контролировали по йодной пробе. Технологические показатели осахаренного сусла, приготовленного по механико-ферментативной схеме водно-тепловой обработки сырья, представлены в таблице 3.

**Таблица 3**

Технологические показатели тритикалевого сусла

Показатели	Количество
Показатели	Количество
Содержание сухих веществ, %	18,0
Количество растворенных углеводов, г/дм <sup>3</sup>	15,3
pH	6,6
Кислотность, град	0,23
Видимая доброкачественность, %	74,1
Содержание редуцирующих веществ, г/100 см <sup>3</sup>	8,8
Содержание общих редуцирующих веществ, г/100 см <sup>3</sup>	13,1

Для выведения и размножения чистой культуры дрожжей использовали агаризованную питательную среду, которую разливали в чашки Петри для первого этапа выращивания и в пробирки для приготовления скошенных сред для хранения.

Агаризованную питательную среду для размножения колоний готовили, используя производственное сусло, следующим образом: сусло после варки и охлаждения до 20 °С фильтровали через ватно-марлевый слой, помещали в автоклав на 20 минут для стерилизации при температуре 121 °С, вносили агар-агар бактериологический питательный в количестве 2 % к объему сусла, хорошо перемешивали и повторно автоклавировали 5 минут при температуре 100 °С. Готовую агаризованную питательную среду разливали по чашкам Петри и в пробирки для последующего скашивания.

Для получения изолированных колоний использовали метод разведения. Проводили отбор проб дрожжевой суспензии через каждые 5 минут обработки ультразвуком и готовили ряд последовательных разведений в стерильной среде (дистиллированной воде). С каждым разведением количество клеток уменьшается, и можно получить такие разведения, в которых будет находиться только одна клетка, которая даёт начало чистой культуре. В нашем случае проводили шести-

кратное разведение каждого образца и последующий посев микробиологической петлей на застывшие питательные среды в стерильные чашки Петри. Все опытные образцы и контрольный вариант помещали в термостат для культивирования при температуре 35 °С вверх дном. Через 72 часа из каждой жизнеспособной клетки образовывались видимые невооружённым глазом скопления дрожжей — колонии.

## Анализ данных

Статистическую обработку данных проводили, используя методы математической статистики с применением программного обеспечения Microsoft Excel. Для обработки результатов исследований вычисляли средние арифметические значения величин из трех измерений для каждого опытного образца, стандартное отклонение не превышало 3,0% при доверительной вероятности Р = 0,95.

# РЕЗУЛЬТАТЫ

## Активирующее воздействие ультразвука на синтез биомассы

В предыдущих исследованиях было установлено, что воздействие ультразвука (далее УЗ) с частотой колебаний 22 кГц и интенсивностью колебаний 1 Вт/см<sup>2</sup> на дрожжевую суспензию в течение 3,5–4,5 минут способствует повышению синтеза биомассы на 35 % в процессе дрожжегенерирования и увеличению бродильной активности на 28 % в процессе брожения. Это в определенной степени согласуется с данными других исследователей. Так, Soro et al. (2021) рекомендуют частоты 45 и 130 кГц, которые не оказывали разрушающего эффекта на лаг-фазу и скорость роста популяций дрожжей. В обработанным ультразвуком дрожжах увеличивается содержание твердых веществ (Eomet, 2022).

## Дезинтегрирующее воздействие ультразвука на синтез биомассы

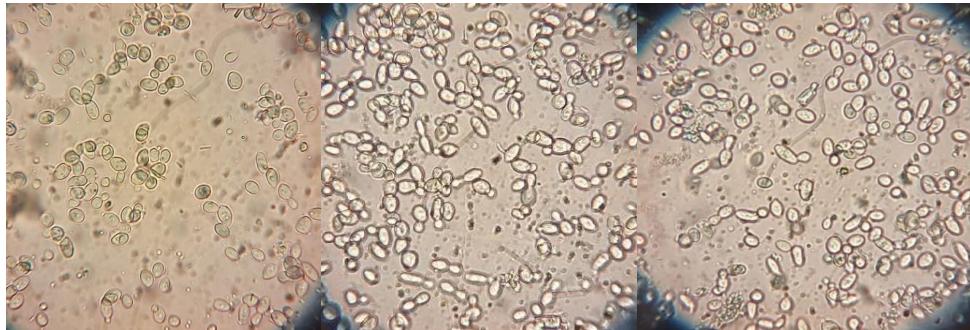
Изучение дезинтегрирующий эффект ультразвука на дрожжевую суспензию свидетельствует, что продолжительное (более 35 минут) воздействие ультразвука губительно действует на дрожжи и вызывает разру-

шение клеточных стенок (автолиз). Используя данный фактор, был получен дрожжевой экстракт, который применялся в качестве дополнительного источника питания для дрожжей. На заключительном этапе вышеописанных исследований (Бодрова, 2006) была поставлена задача изучить влияние ультразвука на морфологические и физиологические признаки дрожжей и провести тестирование отобранных популяций по признаку толерантности и адаптации к конкретному зерновому сырью для отбора наиболее перспективной расы спиртовых дрожжей, в случае установления положительного эффекта от ультразвука.

Способ выведения нового штамма спиртовых дрожжей.

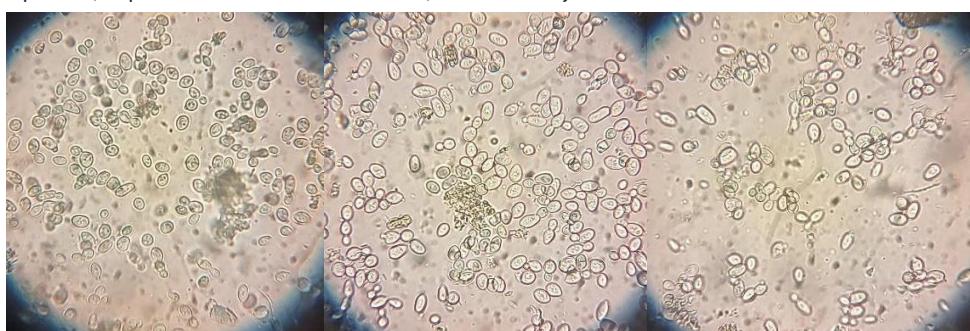
#### Фотографии 2–4

Контроль (без УЗ) и дрожжи, обработанные УЗ в течение 5 и 10 минут



#### Фотографии 5–7

Дрожжи, обработанные УЗ в течение 15, 20 и 25 минут



#### Фотографии 8–10

Дрожжи, обработанные УЗ в течение 30, 35 и 40 минут

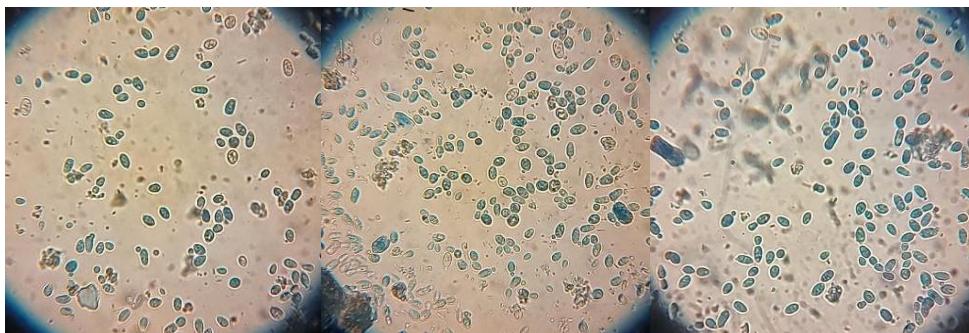


Выведение нового штамма осуществляли следующим образом. В ультразвуковую ванну вносили дрожжевую супензию производственных дрожжей и начинали обработку, проводя отбор проб каждые 5 минут, для установления количества мертвых клеток, и отбора наиболее подходящих по размерам и форме дрожжей для дальнейшего пересева на твердую питательную среду в чашки Петри. Морфологически дрожжи *Saccharomyces* могут иметь круглую или эллипсоидную форму в зависимости от фазы роста и условий культивирования (Maicas, 2020)

Микрофотографии колоний дрожжей представлены на Фотографиях 2–13.

### Фотографии 11–13

Дрожжи, обработанные УЗ в течение 45, 50 и 55 минут

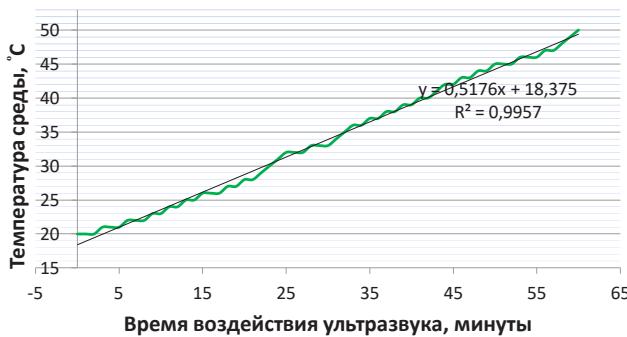


Согласно фото 13, на 50 минуте ультразвукового воздействия на дрожжевую супензию процент мертвых клеток достигает 100%, т.е. наступает полная гибель дрожжей. Известно, что при разрушении клеточных стенок (автолизе) происходит выход содержимого дрожжей во внешнюю среду. На данном свойстве основаны способы получения различных биологически активных добавок и подкормок для дрожжей (Патент № 2065275<sup>7</sup>, 1996; Авторское свидетельство № 1606528, 1990<sup>8</sup>), поэтому полученный дрожжевой экстракт (ДЭ) с данного этапа ультразвуковой обработки использовали в качестве дополнительного источника питания дрожжей на этапе дрожжегенерации.

Первые мертвые клетки были обнаружены на 5 минуте обработки дрожжевого сусла ультразвуком (Фото 5). Поминутный график изменения количества мертвых клеток, а также динамика изменения температуры и pH среды в процессе УЗ обработки представлены на Рисунках 1–3.

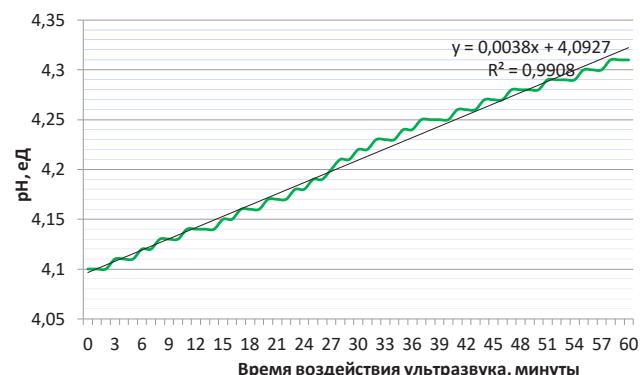
### Рисунок 1

Изменение температуры среды в результате УЗ воздействия



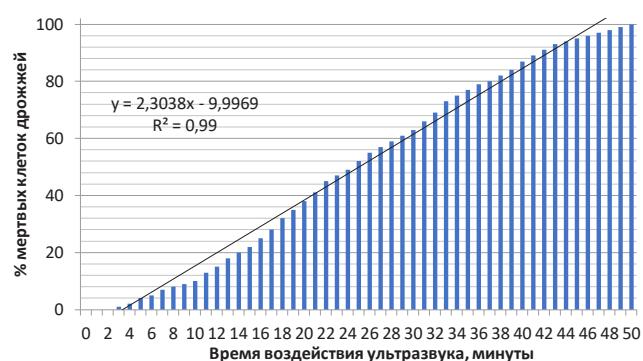
### Рисунок 2

Изменение pH среды в результате УЗ воздействия



### Рисунок 3

Количество мертвых клеток в результате УЗ воздействия



Одним из факторов воздействия ультразвука на жидкие среды является тепловой эффект. Из рисунка 1 видно, что в процессе 50-минутного воздействия ультразвука идет равномерный подъем температуры, который в конце обработки достигает 50 °C. Нагревание происходит за счет волнового движения распространения энергии, акустической кавитации,

<sup>7</sup> Патент № 2065275 С1 Российской Федерации, МПК A23J 1/18, C12N 1/06.

<sup>8</sup> Авторское свидетельство № 1606528 А1 СССР, МПК C12N 1/06, A23J 1/18, C12R 1/86. Способ получения автолизата дрожжей-сахаромицетов: № 4487045: заявл. 27.09.1988: опубл. 15.11.1990 / Е. Н. Датунашвили, В. М. Степанов, Г. Н. Руденская

в результате которой в водной суспензии формируются пузырьки, которые взрываются (Ashokkumar, 2008; John, 2019). Также ультразвук влияет на pH среды, смешая ее в щелочную сторону, что объясняется распадом молекул воды на ионы  $H^+$  и  $OH^-$  и их последующим взаимодействием с молекулами воды с образованием  $H_3O$ . Вследствие этого увеличивается количество ионов  $OH^-$ , обеспечивающих щелочную реакцию. В исследуемых образцах pH сусла смешается в щелочную сторону на 0,16 ед (Рисунок 2).

Вследствие взрыва пузырьков в результате кавитации происходит гибель клеток вокруг них по причине разрыва дрожжевых стенок. Поэтому, начиная с 5 минуты, в среде обнаруживаются мертвые клетки (Рисунок 3). Выживаемость снижается на значительную величину и после 7 минуты содержание мертвых клеток превышает 10%. На 55 минуте процент мертвых клеток достигает 95%.

Образцы, отобранные из обрабатываемой среды через каждые 5 минут, использовали для получения чистых культур методом разведения и посева, подробно описанного в методах исследования. После посева чашки Петри помещали в термостат крышками вниз и выдерживали при температуре 30 °C в течение 3-х суток. В результате визуального контроля для дальнейших исследований были отобра-

ны образцы с наиболее крупными изолированными клетками, а именно образцы после 20, 25, 30 и 35 минутной обработки (Опыт 1–4). Результаты выращивания представлены на Фотографиях 14–18.

Из выбранных образцов пересевали наиболее крупные 3–4 колонии, с целью сохранения культуры, и делали пересев с помощью бактериологической петли на поверхность скошенного сусла-агара в пробирки методом истончающегося штриха и помещали в термостат при температуре 30 °C на 72 часа.

### Применение чистых культур дрожжей на этапе дрожжегенерирования

Чистые культуры выведенных дрожжей после 20, 25, 30 и 35 минутной ультразвуковой обработки и контрольный вариант применяли на этапе дрожжегенерирования и брожения при получении спирта. Для этого в каждую пробирку вносили стерильное профильтрованное сусло и выдерживали 6 часов для регенерации дрожжей. Далее переносили в колбы на 250 мл со 100 мл стерильного нефильтрованного тритикалевого сусла, вносили дрожжевой экстракт, полученный на 55 минуте ультразвукового воздействия в количестве 10% от объема, и продолжали выращивание в термостате при температуре 34–35 °C.

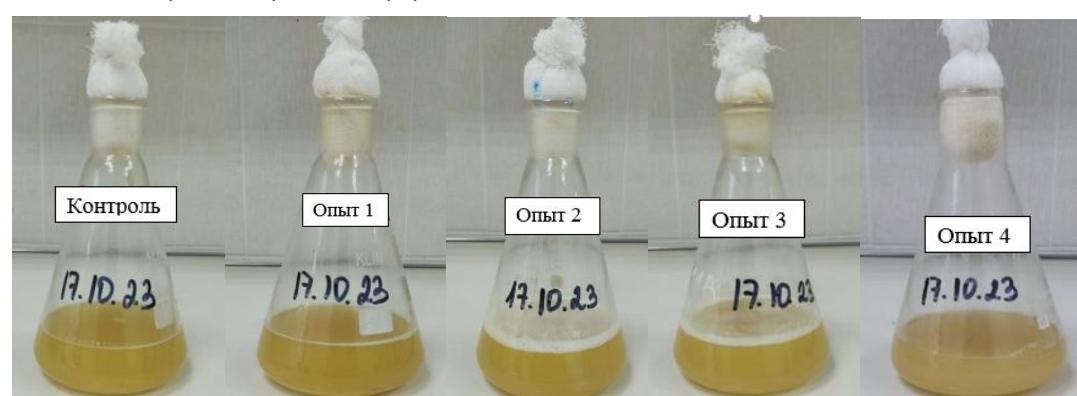
#### Фотографии 14–18

Культуры дрожжей на 3 сутки выращивания



#### Фотографии 19–23

Внешний вид процесса дрожжегенерирования на 6 час

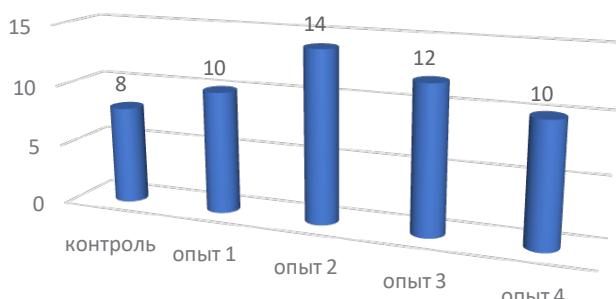


На фото 21 видно, что в опыте 2 более активно проходит рост дрожжей. Слой бродящей пены на поверхности составляет 9 мм, тогда как в контроле и в опыте 4 слой пены не превышает 2 мм. Пена малоактивна.

В процессе дрожжегенерирования контролировали бродильную активность по убыли  $\text{CO}_2$ , а также общее количество почкающих клеток и клеток с гликогеном. Результаты представлены на Рисунках 4–7.

**Рисунок 4**

Бродильная активность по убыли  $\text{CO}_2$ , г



■ Суммарная убыль углекислого газа на 24 час брожения, г

**Рисунок 5**

Влияние выведенных чистых культур дрожжей на накопление общего количества клеток



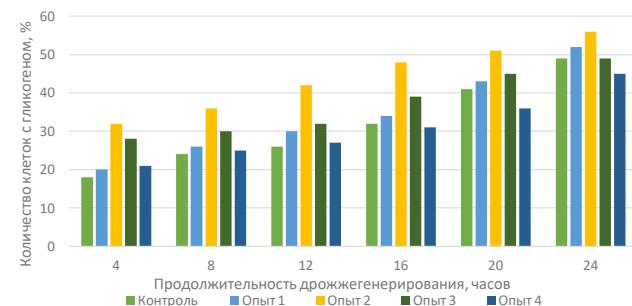
**Рисунок 6**

Влияние на количество почкающих клеток, %



**Рисунок 7**

Влияние выведенных чистых культур дрожжей на количество клеток с гликогеном, %



В результате оценки морфологических свойств дрожжей установлено, что необходимое количество клеток засевных дрожжей (рисунок 5), составляющее более 150 млн./ $\text{см}^3$ , достигается в опыте 2 на 20 час дрожжегенерирования, что на 4 часа сокращает данный этап, по сравнению с контролем. Из рисунков 6 и 7 видно, что в процессе дрожжегенерирования максимальное количество почкающих клеток и клеток с гликогеном накапливается в опыте 2. Также было отмечено, что дрожжевые клетки под микроскопом более крупные, упитанные, имеют хороший тургор, что свидетельствует об их более активном физиологическом состоянии. Повышенная температура дрожжегенерирования, составившая во всех опытных вариантах 35 °C, не действует угнетающе на дрожжи, по сравнению с контролем.

### Применение чистых культур дрожжей на этапе брожения в лаборатории

Дрожжи, полученные на этапе дрожжегенерирования, применяли в качестве засевных для проведения этапа брожения в лабораторных условиях. Для этого проводили пересев всех образцов в колбы с объемом сусла 1000 мл и оставляли на брожение в термостате при температуре 34–35 °C на 48 часов.

В каждом лабораторном образце полученной зрелой бражки, представляющей собой конечный продукт процесса брожения, определяли физико-химический состав при помощи анализатора жидким компонентов «Колос-2». Данные приведены в Таблице 4.

Помимо показателей, представленных в Таблице 4, дополнительно проанализировали массовую долю

Таблица 4

Характеристика спиртовых дрожжей

Показатели	Контроль	Опыт 1 УЗ 20	Опыт 2 УЗ 25	Опыт 3 УЗ 30	Опыт 4 УЗ 35
Температура, С	20,03	20,29	20,01	20,51	20,77
Спирт, %	6,89	8,16	9,94	8,62	7,46
Экстракт, %	4,13	4,09	3,65	3,83	4,15
Плотность	1,0019	1,0021	0,9998	1,0003	1,0018
Спирт, об. %	8,69	9,09	9,95	9,66	9,47
ЭНС	18,0	17,5	17,8	18,01	18,1
Дейст. ст. сбраж.	77,3	76,7	79,5	78,9	77,1
Вид. ст. сбраж.	94,5	94,0	97,2	96,5	94,5
Видимый экст	1,00	1,05	0,49	0,63	1,00

Таблица 5

Показатели зрелой бражки

Показатели	Контроль	Опыт 1 УЗ 20	Опыт 2 УЗ 25	Опыт 3 УЗ 30	Опыт 4 УЗ 35
Массовая доля углеводов %:					
Общих	0,46	0,27	0,32	0,39	0,44
Растворимых	0,33	0,18	0,20	0,27	0,35
Массовая доля нерастворенного крахмала, %	0,12	0,08	0,10	0,12	0,14
Активная кислотность, pH	4,70	4,68	4,68	4,69	4,71
Титруемая кислотность, град	0,36	0,41	0,42	0,42	0,39

общих, растворимых углеводов и нерастворенного крахмала, а также активную и титруемую кислотности.

Из полученных данных следует, что образец, полученный из чистой культуры дрожжей после 25 минутного ультразвукового воздействия на дрожжевую суспензию, обеспечил более высокий выход спирта, по сравнению с контролем (+2,05 %) и более глубокое сбраживание сахара. Похожие данные получены зарубежными учеными, в том числе на других продуктах. Так, обработка дрожжей ультразвуком повысила содержание сухих веществ в ферментированном напитке из ананасов (Aguilar, 2022).

### Применение чистых культур дрожжей на производственном этапе

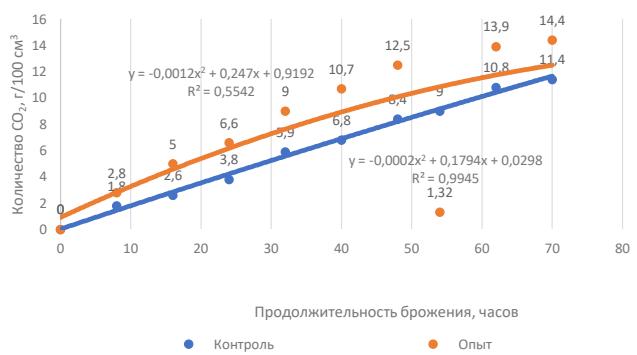
Данный образец использовали для проведения процесса брожения на лабораторно-производственной установке объемом 40 литров (Фото 2).

В качестве сравнения применяли контрольный вариант, сброженный дрожжами *Saccharomyces cerevisiae*, не подвергнутыми обработке ультразвуком. Начальная температура среды брожения 24 °C.

В процессе сбраживания контролировали бродильную активность, общее количество клеток, содержание несброшенных и сухих веществ. Результаты представлены на Рисунках 8–11.

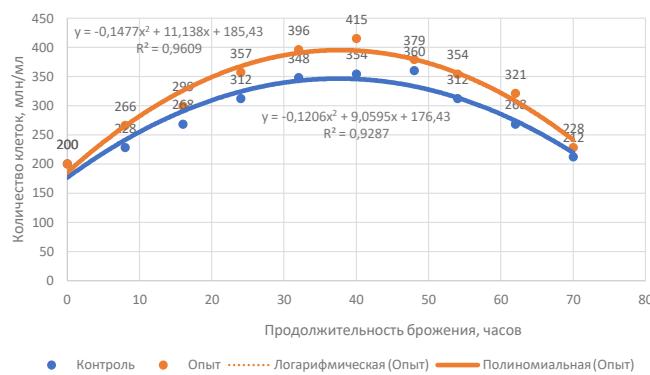
Рисунок 8

Бродильная активность по убыли CO<sub>2</sub>



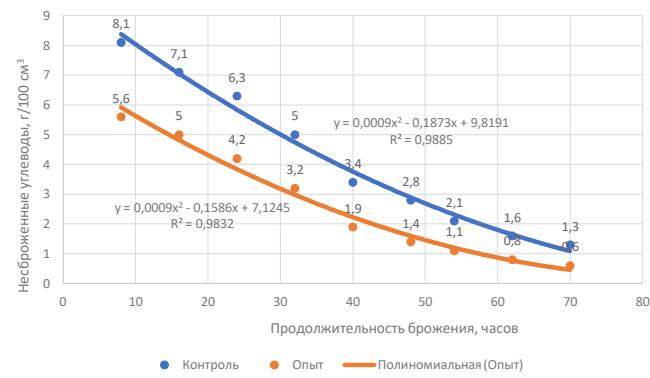
**Рисунок 9**

Содержание общего количества клеток при сбраживании сусла



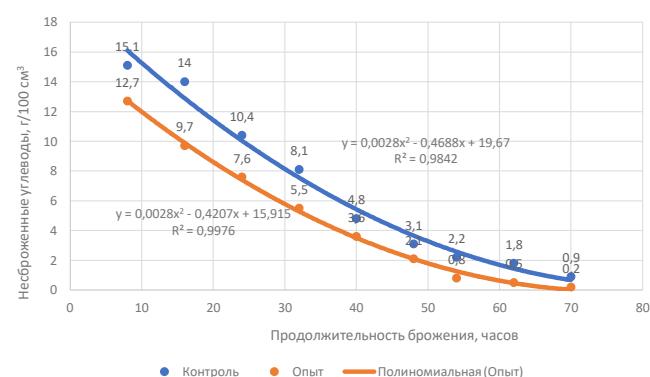
**Рисунок 10**

Содержание несброшенных углеводов при сбраживании сусла



**Рисунок 11**

Содержание сухих веществ при сбраживании сусла



Определение летучих примесей в дистилляте зрелой бражки проводили на газовом хроматографе согласно ГОСТ 30536–97. Полученные результаты приведены в Таблице 6.

**Таблица 6**

Летучие примеси в дистилляте зрелой бражки

Наименование показателей	Содержание, мг/дм³	
	Контроль	Опыт УЗ 55
Ацетальдегит	31,9	21,25
Метилацетат	12,2	11,9
Этилацетат	218,2	175,5
Метанол, %	0,0070	0,005
2-пропанол	2,2	2,4
1-пропанол	195,8	233
Изобутанол	1571,7	920,5
1-Бутанол	18,9	62,2
Изоамилол	7290,5	6431,75
Суммарное содержание примесей	9341,407	7858,505

Как следует из Таблицы 6, содержание примесей спирта в бражном дистилляте опытного образца снизилось в 1,19 раз по сравнению с контрольным образцом.

Штамм идентифицирован (Фотография 13) и депонирован (Фотография 14) во ВКПМ Биоресурсного Центра НИЦ «Курчатовский институт» 6 октября 2022 года. Регистрационный номер ВКПМ: У-5080. Получен патент № 2811442 (Фотография 15).

Идентификация штамма проведена на основе анализа последовательности рибосомальных генов.

#### Фотографии 13–15

Итоги идентификации, патентного депонирования и патент



Для установления филогенетического родства близких видов был использован метод сравнения нуклеотидных последовательностей, кодирующих ген 5,8 pRNK и внутренние транскрибуемые спайсеры ITS1 и ITS2. Секвенирование проводилось на автоматическом секвенаторе AE3000. Для анализа секвенсов использовалась специали-

зированная компьютерная программа BLAST. По результатам проведенного анализа установлено, что исследуемый штамм наиболее близок к виду *Saccharomyces cerevisiae*.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Известные к настоящему времени результаты исследований механизмов воздействия ультразвука на спиртовые дрожжи в основном характеризуют его активирующее и дезинтегрирующее влияние на морфологию и физиологию дрожжей. Ряд авторов установили только активирующий эффект воздействия ультразвука, который усиливает проникновение питательных веществ и биологически активных веществ в клетку, что в дальнейшем интенсифицирует процессы подготовки конечных продуктов (Стецов, 2023; Гречишникова, 2015; González-Centeno, 2014). Дезинтегрирующий эффект ультразвука применялся только для получения различных автолизатов дрожжей (Bertolo, Biz, Kempka, 2019).

Практически не исследовано влияние примененных нами параметров ультразвука с частотой колебаний 22 кГц и интенсивностью колебаний 1 Вт/см<sup>2</sup> на набор таких физиологических свойств дрожжей, как термотолерантность и осмофильность, в отличие от ультрафиолета, электричества, электромагнитного поля (Рынк, 2023; Qian, 2021; Osintsev, 2021). Механизмы мутации на генном уровне к настоящему времени не изучены.

С применением указанных выше параметров ультразвука выведен новый штамм дрожжей из производственной дрожжевой суспензии, который проявил высокую активность при дрожжегенерировании и брожении, а также позволил повысить выход и качество спирта ректифицированного из крахмалсодержащего сырья при температуре брожения 35 °C. Применение термотолерантных штаммов дрожжей является перспективным направлением в совершенствовании технологии получения спирта, что доказано рядом авторов за последние 20 лет (Римарева, 2019; Оверченко, 2017; Prado, 2020; de Souza, 2018; Xu, 2018; Choudhary, 2016).

Продолжительность брожения при применении данного штамма сокращается на 18–22 %, по срав-

нению с дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* XII. Количество мертвых клеток не превышает 5 %. Сбраживание сахаров происходит до концентрации спирта 10–13 %. Концентрация клеток составляет 120–130 млн./мл. Количество почекущихся клеток — 8–9 %. Количество мертвых клеток — 1 %. Активная кислотность питательной среды — pH 4,2–5,5.

Применение данного штамма спиртовых дрожжей позволит интенсифицировать самые продолжительные стадии в технологии спирта, а именно процессы дрожжегенерирования и брожения, и пополнит банк дрожжей для данной отрасли (Кулназаров, 2015).

Установлен мутирующий эффект ультразвука, выражаящийся в изменении нуклеотидной последовательности генома.

Основным ограничением текущего исследования по получению нового штамма спиртовых дрожжей является применение ультразвуковой установки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили установить мутагенное влияние ультразвука на физиологические свойства спиртовых дрожжей, состав зерной бражки и ряд других производственных показателей. В результате получен, идентифицирован и запатентован новый штамм спиртовых дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* УЗ-55. Идентификация штамма проведена на основе анализа последовательности рибосомальных генов. Полученный штамм планируется применять в технологии получения спирта из зерна тритикале, что позволяет проводить брожение при повышенных температурах — 33–37 °C, а также увеличить выход спирта и снизить суммарное содержание примесей в зерной бражке.

Результаты исследования убедительно демонстрируют, что ультразвуковое воздействие является мощным фактором, способным направленно изменять не только физиологические свойства, но и геном дрожжей и тем самым получать новые штаммы, способные обеспечить более высокие производственные результаты. Значимым явля-

ется тот факт, что разработанный способ может быть осуществлен на любом спиртовом заводе, перерабатывающем крахмалсодержащее сырье, при условии наличия лабораторной ультразвуковой установки с объемом рабочей ванны 1...5 дм<sup>3</sup>, что подтверждено актом внедрения на Белгородском спиртовом заводе, где в качестве сырья применяется кукуруза.

Полученный штамм относится к категории спиртовых дрожжей. Для использования способа обработки дрожжей ультразвуком в других отраслях пищевой промышленности – винодельческой, хлебопекарной, пивоваренной, требуются дальнейшие исследования, направленные на получение новых штаммов винных, хлебопекарных, пивоваренных дрожжей.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Калужина Олеся Юрьевна:** постановка и анализ проблемы; планирование, проведение и обработка результатов эксперимента; визуализация данных; подготовка и редактирование рукописи статьи; лабораторно-производственные испытания.

**Леонова Светлана Александровна:** обзор литературы; подготовка и редактирование рукописи статьи; формулирование выводов исследования.

**Кузнецова Елена Анатольевна:** постановка проблемы; разработка концепции статьи; формулирование выводов исследования.

**Латыпова Рузалина Рафисовна:** проведение лабораторных исследований; первичная обработка полученных данных.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бодрова, О. Ю. (2006). *Интенсификация процессов дрожжегенерирования и брожения в технологии спирта с использованием ультразвуковой обработки засевных дрожжей* [Кандидатская диссертация]. Московский государственный университет пищевых производств.
- Bodrova, O. Yu. (2006). *Intensification of yeast generation and fermentation processes in alcohol technology using ultrasonic treatment of seed yeast* [PhD dissertation]. Moscow State University of Food Production. (In Russ.)
- Бурнышева, Т. О. (2022). Обзор российских исследований применения ультразвука в пищевой индустрии. *Реалии и современные возможности науки: сборник научных трудов по материалам III Международной научно-практической конференции* (с. 30–33). Москва: Научно-издательский центр Толмачево.
- Burnysheva, T. O. (2022). Review of Russian studies on the application of ultrasound in the food industry. *Realities and Modern Opportunities of Science: Collection of Scientific Papers Based on the Materials of the III International Scientific and Practical Conference* (pp. 30–33). Moscow: Scientific Publishing Center Tolmachevo. (In Russ.)
- Рынк, В. В., Кузчуткумов, М. В., Громов, Е. С., & Осинцев, А. М. (2023). Влияние переменного магнитного поля частотой 90 кГц на активность пивных дрожжей. *Холодильная техника и биотехнологии: Сборник тезисов IV национальной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых* (с. 152–156). Кемерово: Кемеровский государственный университет.
- Rynk, V. V., Kuzchutkumov, M. V., Gromov, E. S., & Osintsev, A. M. (2023). Influence of an alternating magnetic field with a frequency of 90 kHz on the activity of brewer's yeast. *Refrigeration Equipment and Biotechnology: Collection of Abstracts of the IV National Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists* (pp. 152–156). Kemerovo: Kemerovo State University. (In Russ.)
- Давидович, Е. А. (2006). Комплексная обработка зернового сырья в спиртовой промышленности. *Пищевая и перерабатывающая промышленность*, (4), 51–63.
- Davidovich, E. A. (2006). Comprehensive processing of grain raw materials in the alcohol industry. *Piševaâ I Pererabatyvaûšâ Promyšlennost'*, (4), 51–63. (In Russ.)
- Давыденко, С. Г., Устинова, А. С., Меледина, Т. В., & Баркова, Н. В. (2012). Скрининг штаммов спиртовых дрожжей для сбраживания высококонцентрированного сусла. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств*, 2, 14–18.
- Davydenko, S. G., Ustinova, A. S., Meledina, T. V., & Barkova, N. V. (2012). Screening the alcohol yeast strains for high gravity wort fermentation. *Scientific Journal NRU ITMO. Series Processes and Equipment for Food Production*, 2, 14–18. (In Russ.)
- Гречишникова, А. С. (2015). Влияние применения ультразвуковых технологий на процесс управления выращивания хлебопекарных дрожжей. *Альманах научных работ молодых ученых Университета ИТМО* (с. 119–121). Санкт-Петербург: Издательство Санкт-Петербургский национальный исследовательский

- университет информационных технологий, механики и оптики.
- Grechishnikova, A. S. (2015). The impact of ultrasonic technologies on the management process of bakery yeast cultivation. *Almanac of Scientific Works of Young Scientists of ITMO University* (pp. 119–121). St. Petersburg: Publishing House of St. Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics, and Optics. (In Russ.)
- Кузнецова, Т. В., Шорманова, М. М., Айтжанова, А. А., Елубаева, М. Е., & Саубенова, М. Г. (2016). Исследование терморезистентности спиртовых дрожжей. *Приволжский научный вестник*, 11(63), 7–10.
- Kuznetsova, T. V., Shormanova, M. M., Aytzhanova, A. A., Yelubaeva, M. E., & Saubanova, M. G. (2016). Study of thermal resistance of alcohol yeast. *Privolzhsky Scientific Journal*, 11(63), 7–10. (In Russ.)
- Кулназаров, Б. А., Кузнецова, Т. В., & Саубенова, М. Г. (2015). Селекция спиртовых дрожжей, обладающих осмофильными свойствами. *Actualscience*, 2(2), 21–22.
- Kulnazarov, B. A., Kuznetsova, T. V., & Saubanova, M. G. (2015). Selection of alcohol yeast with osmo-philic properties. *Actualscience*, 2(2), 21–22. (In Russ.)
- Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Серба, Е. М., Римарева, Л. В., & Белокопытова, Е. Н. (2017). Спиртовые расы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с термотолерантными и осмофильными свойствами для интенсификации процесса брожения зернового сусла. *Современные биотехнологические процессы, оборудование и методы контроля в производстве спирта и спиртных напитков: сборник научных трудов* (с. 35–43). Москва: Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи.
- Overchenko, M. B., Ignatova, N. I., Serba, E. M., Rimareva, L. V., & Belokopytova, E. N. (2017). Alcohol yeast strains *Saccharomyces cerevisiae* with thermotolerant and osmo-philic properties for intensifying the fermentation process of grain wort. *Modern biotechnological processes, equipment, and control methods in the production of alcohol and alcoholic beverages: Collection of scientific papers* (pp. 35–43). Moscow: Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology, and Food Safety. (In Russ.)
- Разинькова, В. Г., Гордеева, А. Б., Борисенко, А. А., & Борисенко, А. А. (2021). Зарубежный опыт и перспективы использования ультразвуковой обработки в пищевой промышленности. *Инновационное развитие аграрно-пищевых технологий: Материалы международной научно-практической конференции* (с. 228–233). Волгоград: СФЕРА.
- Razinkova, V. G., Gordeeva, A. B., Borisenko, A. A., & Borisenko, A. A. (2021). Foreign experience and prospects for the use of ultrasonic treatment in the food industry. *Innovative development of agro-food technologies: Materials of the international scientific and practical conference* (pp. 228–233). Volgograd: SFERA. (In Russ.)
- Римарева, Л. В. (2010). *Теоретические и практические основы биотехнологии дрожжей*. Москва: ДеЛи принт.
- Rimareva, L. V. (2010). *Theoretical and practical foundations of yeast biotechnology*. Moscow: DeLi Print. (In Russ.)
- Сагингалиева, А. Г. (2023). Перспективы развития ультразвуковых технологий для интенсификации процессов. *Инновационное техническое обеспечение агропромышленного комплекса. Материалы научно-технической конференции с международным участием имени А.Ф. Ульянова* (с. 207–214). Саратов: Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н.И. Вавилова.
- Sagingaliyeva, A. G. (2023). Prospects for the development of ultrasonic technologies for process intensification. *Innovative technical support for the agro-industrial complex. Materials of the scientific and technical conference with international participation named after A.F. Ulyanov* (pp. 207–214). Saratov: Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering Named after N.I. Vavilov. (In Russ.)
- Степцов, Я. Г. (2023). Исследование влияния ультразвуковой обработки на динамику роста биомассы дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*. *Наука и молодежь: материалы XX Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых* (с. 292–294). Барнаул: Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова.
- Stetsov, Ya. G. (2023). Study of the influence of ultrasonic treatment on the growth dynamics of *Saccharomyces cerevisiae* yeast biomass. *Science and houth: Materials of the XX All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Postgraduates, and Young Scientists* (pp. 292–294). Barnaul: Altai State Technical University Named after I.I. Polzunov. (In Russ.)
- Стремин, А. А., & Федоренко, Б. Н. (2023). Использование ультразвука для ускорения экстракции в пищевой промышленности. *Вестник науки*, 5(62), 725–730.
- Stremyn, A. A., & Fedorenko, B. N. (2023). Use of ultrasound to accelerate extraction in the food industry. *Vestnik Nauki*, 5(62), 725–730. (In Russ.)
- Цед, Е. А. (2021). Исследование влияния метаболических добавок на жизнедеятельность дрожжей в условиях ферментации высококонцентрированного спиртового сусла. *Вестник Могилевского государственного университета продовольствия*, 1(30), 51–62.
- Tsed, E. A. (2021). Study of the effect of metabolic additives on yeast activity under fermentation conditions of high-concentration alcohol wort. *Vestnik Mogilevskogo gosudarstvennogo universiteta prodovol'stviâ*, 1(30), 51–62. (In Russ.)
- Aguilar, K. (2022). Evaluating ultrasound pre-treatment as a tool for improving the process of a fermented beverage made from pineapple by-products. *Food Technology*, 25. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.11621>
- Ashokkumar, M., Sunartio, D., Kentish, S., Mawson, R., Simons, L., Vilku, K. & Versteeg, C. (2008). Modification of food ingredients by ultrasound to improve functionality: A preliminary study on a model system. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(2), 155–160. <http://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.05.005>

- Bertolo, A. P., Biz, A. P. & Kempka, A. P. (2019). Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*): Evaluation of cellular disruption processes, chemical composition, functional properties and digestibility. *Journal Food Science and Technology*, 56(8), 3697–3706. <http://doi.org/10.1007/s13197-019-03833-3>
- Berzosa, A., Delso, C., Sanz, J., Sánchez-Gimeno, C., & Raso, J. (2023). Sequential extraction of compounds of interest from yeast biomass assisted by pulsed electric fields. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 11. <http://doi.org/10.3389/fbioe.2023.1197710>
- Choudhary, J. C., Surender S., & Nain, L. (2016). Thermotolerant fermenting yeasts for simultaneous saccharification fermentation of lignocellulosic biomass. *Electronic Journal of Biotechnology*, 19(3), 82–92. <http://doi.org/10.1016/j.ejbt.2016.02.007>
- Eom, S. J., Park, J. T., Kang, M. C., Lee, N. H., & Kyung, M. U. (2022). Of ultrasound treatment to extract mannan polysaccharide from *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Food Process Engineering*, 5, 9. <https://doi.org/10.1111/jfpe.14105>
- Ferreira, R. M., Mota, M. J., & Lopes, R. P. (2019). Adaptation of *Saccharomyces cerevisiae* to high pressure (15, 25 and 35 MPa) to enhance the production of bioethanol. *Food Research International*, 115, 352–359. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.11.027>
- García Martín, J. F., Guillemet, L., Feng, C. & Sun, D. W. (2013). Cell viability and proteins release during ultrasound-assisted yeast lysis of light lees in model wine. *Food Chemistry*, 141(2), 934–9. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.03.081>
- González-Centeno, R. (2015). Effect of power ultrasound application on aqueous extraction of phenolic compounds and antioxidant capacity from grape pomace (*Vitis vinifera* L.): Experimental kinetics and modeling. *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 506–514. <http://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.05.027>
- John, I., Pola, J. & Appusamy, A. (2019). Optimization of ultrasonic assisted saccharification of sweet lime peel for bioethanol production using box-behnken method. *Waste and Biomass Valorization*, 10(2), 441–453. <http://doi.org/10.1007/s12649-017-0072-1>
- Liman Gao, K. X., Hassan, J. U., Zhao, Z., Li, C., Huo, Y. X., & Liu, G. (2018). Improving the thermo-tolerance of yeast base on the antioxidant defense system. *Chemical Engineering Science*, 175, 335–342. <http://doi.org/10.1016/j.ces.2017.10.016>
- Maicas, S. (2020). The role of yeasts in fermentation processes. *Microorganisms*, 8. <http://doi.org/10.3390/microorganisms8081142>
- Osintsev, A. M., Vasilchenko, I. L., Rodrigues, D. B., Stauffer, P. R., Braginsky, V. I., Rynk, V. V., Gromov, E. S., Prosekov, A. Yu., Kaprin, A. D. & Kostin A. A. (2021). Characterization of ferromagnetic composite implants for tumor bed hyperthermia. *IEEE Transactions on Magnetics*, 57, 1–8. <http://doi.org/10.1109/TMAG.2021.3097915>
- Paulino de Souza, J. (2018). Improvement of Brazilian bioethanol production—Challenges and perspectives on the identification and genetic modification of new strains of *Saccharomyces cerevisiae* yeasts isolated during the ethanol process. *Fungal Biology*, 122(6). <http://doi.org/10.1016/j.funbio.2017.12.006>
- Permyakova, L., Sergeeva, I., & Dolgolyuk, I. (2023). Combined effect of ultrasound treatment and a mix of krebs cycle acids on the metabolic processes in *saccharomyces cerevisiae*. *Fermentation*, 9(2), 132. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020132>
- Prado, C. D., Mandrujano, G. P. L., & Souza, J. P. (2020). Physiological characterization of a new thermotolerant yeast strain isolated during Brazilian ethanol production, and its application in high-temperature fermentation. *Biotechnological Biofuels*, 178. <https://doi.org/10.1186/s13068-020-01817-6>
- Qian, J., Yan, G., Huo, S., Dai, C., Ma, H. & Kan, J. (2021). Effects of pulsed magnetic field on microbial and enzymic inactivation and quality attributes of orange juice. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45, 15–33. <http://doi.org/10.1111/jfpp.15533>
- Soro, A. B., Oliveira, M., O'Donnell, C. P., & Tiwari, B. K. (2021). Ultrasound assisted modulation of yeast growth and inactivation kinetics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105819>
- Talal, F. Y. (2011). *Mechanical treatment of microorganisms using ultrasound, shock and shear technology* [Unpublished doctoral dissertation]. University of Southern Queensland.
- Walker, G. M., & Walker Roy, S. K. (2018). Chapter three – Enhancing yeast alcoholic fermentations. *Advances in Applied Microbiology*, 10, 87–129. <http://doi.org/10.1016/bs.aambs.2018.05.003>
- Walker, G. M. & Stewart, G. G. (2016). *Saccharomyces cerevisiae* in the Production of Fermented beverages. *Beverages*, 2(4). <https://doi.org/10.3390/beverages2040030>
- Wang, S., Thomas, K. C., Ingledew, W. M., Sosulski, K., & Sosulski, F. W. (1997). Rye and triticale as feedstock for fuel ethanol production. *Cereal Chemistry*, 5, 621–625. <http://doi.org/10.1007/BF02920412>

# Ароматобразующие компоненты сидров, произведенных из различных сортов яблони

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, г. Краснодар, Российской Федерации

Н. М. Агеева, А. А. Ширшова, А. А. Храпов, Е. В. Ульяновская, Е. А. Чернуцкая, Ю. Ф. Якуба

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Наталья Михайловна Агеева  
E-mail: ageyeva@inbox.ru

## ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Агеева, Н. М., Ширшова, А. А., Храпов, А. А., Ульяновская, Е. В., Чернуцкая, Е. А., & Якуба, Ю. Ф. (2024). Ароматобразующие компоненты сидров, произведенных из различных сортов яблони. *Хранение и переработка сельхозсыпья*, 32(2), 67–78.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.514>

ПОСТУПИЛА: 06.09.2023

ДОРаБОТАНА: 10.06.2024

ПРИНЯТА: 15.06.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ:

Исследование выполнено при финансовой поддержке Кубанского научного фонда в рамках научного проекта № МФИ-20.1/100.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Аромат напитков, полученных путем спиртового брожения, обуславливается наличием ароматобразующих компонентов, присутствие которых способствует появлению тех или иных тонов и оттенков в аромате. В некоторых странах, например Испании, отдельные ароматобразующие компоненты используют для сортовой и географической принадлежности напитков, в том числе из специальных сидровых сортов яблони. Влияние генетических особенностей сортов яблони, произрастающих в Краснодарском крае, на ароматический профиль сидра ранее не изучалось.

**Материалы и методы:** Изучен ароматический профиль 30 образцов сидров, в том числе приготовленных в лабораторных условиях из плодов яблони российской и зарубежной селекции. Исследование летучих компонентов сидров проводили методом газовой хроматографии. Органолептические показатели сидров оценивала дегустационная комиссия НЦ «Виноделие» ФГБНУ СКФНЦСВ по показателям внешний вид, цвет, аромат и вкус.

**Результаты:** Состав ароматобразующих компонентов сидров представлен летучими кислотами, высшими спиртами, сложными эфирами, альдегидами, а также ацеталиями, гликолями, метанолом, глицерином и др. Установлены диапазоны варьирования основных групп ароматобразующих компонентов сидров, произведенных из различных сортов яблони, а также производственных образцов, в том числе изготовленных из восстановленного яблочного сока. По всем изученным группам летучих веществ сортовые сидры, приготовленные в лабораторных условиях, имели более высокие концентрации ароматических компонентов и глицерина, чем производственные образцы.

**Выводы:** Показано, что сортовые особенности плодов яблони оказали значительное влияние на компонентный состав ароматических веществ и в последующем на органолептические характеристики яблочного сидра. Выделились сорта яблони различного генетического, эколого-географического происхождения (Багрянец Кубани, Прикубанское, Ренет Платона, Персиковое, Орфей, Марго, Флорина, Интерпрайс, Амулет), перспективные для производства сидров в Краснодарском крае.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

сорта яблони; сидры; ароматобразующие компоненты; глицерин; органолептические показатели

# Aroma-Forming Components of Ciders Produced from Different Apple Varieties

North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking, Krasnodar, Russian Federation

**CORRESPONDENCE:**  
Natalia M. Ageyeva  
E-mail: ageyeva@inbox.ru

**DATA AVAILABILITY:**  
Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

**FOR CITATIONS:**  
Ageyeva, N. M., Shirshova, A. A., Khrapov, A. A., Ulyanovskaya, E. V., Chernutskaya, E. A., & Yakuba, Yu. F. (2024). Aroma-forming components of ciders produced from different apple varieties. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 67–78.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.514>

**RECEIVED:** 06.09.2023  
**REVISED:** 10.06.2024  
**ACCEPTED:** 15.06.2024  
**PUBLISHED:** 30.06.2024

**DECLARATION OF COMPETING INTEREST:** none declared.

**FUNDING:**  
The research is carried out with the financial support of the Kuban Science Foundation in the framework of the scientific project № MFI-20.1/100.

Natalia M. Ageyeva, Anastasia A. Shirshova, Anton A. Khrapov, Elena V. Ulyanovskaya, Evgenia A. Chernutskaya, Yury F. Yakuba

## ABSTRACT

**Introduction:** The aroma of drinks obtained by alcoholic fermentation is determined by the presence of aroma-forming components, the presence of which contributes to the appearance of certain tones and hints of aroma. In some countries, individual aroma-forming components are used to determine the varietal and geographical origin of drinks. The influence of apple varieties growing in the Krasnodar region on the aroma profile of cider has not been studied.

**Materials and Methods:** The aroma profile of 30 ciders was studied, including those prepared in the laboratory from apples of Russian and foreign selection. The volatile components of the samples were studied using gas chromatography. The organoleptic characteristics of the ciders were assessed by the tasting commission of the Scientific Center «Winemaking» at the North Caucasian Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking in terms of appearance, color, aroma and taste.

**Results:** The composition of the aroma-forming components of ciders is represented by volatile acids, higher alcohols, esters, aldehydes, as well as acetals, glycols, methanol and glycerol. Variation ranges for the main groups of aroma-forming components in ciders produced from various apple varieties, as well as production samples, including those made from reconstituted apple juice, have been established. For all groups of volatile compounds studied, varietal ciders prepared in laboratory conditions had higher concentrations of aromatic components and glycerol than production samples.

**Conclusion:** The varietal characteristics of apple fruits had a significant impact on the composition of aromatic substances and subsequently on the organoleptic characteristics of apple cider. The apple varieties of different genetic and ecological-geographical origin (Bagryanets Kubani, Prikubanskoe, Renet Platona, Persikovoe, Orfey, Margo, Florina, Enterprise, Amulet) were identified. They are considered as promising for cider production in Krasnodar Krai.

## KEYWORDS

apple varieties; ciders; aroma-forming components; glycerin; organoleptic characteristics



## ВВЕДЕНИЕ

Одним из важнейших органолептических показателей любого напитка является его аромат (He, 2023) формируемый совокупностью различных ароматобобразующих компонентов — сложных эфиров, альдегидов, высших спиртов, летучих кислот, терпеновых соединений и др. (Liu, 2023). Как и в случае с виноградными винами, аромат сидров может быть первичным, т.е. характерным для аромата определенного сорта яблони — исходного сырья, так и вторичным, обуславливаемым компонентами, образующимися при спиртовом брожении сахаров яблочного сока под действием ферментов различных штаммов дрожжей (Zhang, 2022; Егорова, 2023). В процессе брожения дрожжи производят два основных типа ароматических соединений, которые оказывают значительное влияние на ароматический профиль всех напитков: ацетатные эфиры и этиловые эфиры.

Среди ацетатных эфиров, наиболее известными и распространенными являются этилацетат (тона абрикоса, груши, яблока) и изоамилацетат (тона банана, сухофруктов, карамели) (Liu, 2022; Guichard, 2019). Что же касается этиловых эфиров, наиболее распространенными среди них являются этиловые эфиры с линейной цепью от 4 до 10 атомов углерода (C4-бутаноат, C6- гексаноат, C8-октаноат и C10-деканоат), то они придают напиткам брожения более дискретные, но более сложные цветочные и фруктовые оттенки, а пропионовые эфиры (пропилпропионат) участвуют в формировании тона зеленого яблока. Огромные различия в концентрации этих соединений могут кардинально повлиять на восприятие аромата и вкуса напитков, в том числе и сидров (Han, 2023; He, 2022; Riekstina-Dolge, 2012).

Высшие спирты оказывают различное влияние на органолептические характеристики готовых напитков. Их образование происходит в процессе спиртового брожения яблочного сусла из соответствующих аминокислот и зависит в основном от условий брожения, а также биохимического состава сусла (He, 2023). Так присутствие пропанола и гептанола обуславливает цитрусовые тона; изобутанола — цитронные и цветочные оттенки; бутанола и октанола — цитрусовые, ореховые, жженые; гексанола — цветочно-фруктовые; изоамилового спирта в высокой концентрации — сивушные и синтетические тона. Перечисленные высшие спирты

образуются при сбраживании сусла через  $\alpha$ -кетокапроновую кислоту из лейцина под действием ферментов.

Рядом авторов показана существенная зависимость качественного и количественного состава ароматобобразующего комплекса яблочных сидров от сортовых особенностей яблок (Ruppert, 2021; Spaho, 2021; Ширшова, 2020). По данным Почицкая (2019) и Nikfardjam (2011) основную часть летучих соединений свежих яблок составляют сложные эфиры и альдегиды (гексилгексаноат, бутилбутаноат, бутилгексаноат, гексилбутаноат, гексилацетат, 2-метилгексилбутаноат, изо-амилбутаноат, этилбутаноат и изоамилацетат (в порядке убывания)). Показана зависимость относительного содержания этих компонентов от сорта яблони. Почицкая И.М., Росляков Ю.Ф., Комарова Н.В. указывают, что в ряде одних сортов яблони, произрастающих в Республике Беларусь, превалирует гексилацетат, в других — бутилбутаноат, гексилбутаноат, придавая свежим плодам различные оттенки аромата. Ji (2023) и Antón (2014) обосновали, что такие компоненты, как амиловые спирты, 2-фенилэтанол, этиловые эфиры, 2-метилбутират, гексаноат и октаноат, гексановая и октановая кислоты, 2-фенилэтилацетат, 4-этилгваякол и 4-этилфенол, можно рассматривать как часть структуры аромата сидра, связанную с первичными ароматами яблок (Xu, 2007). Medina (2020) идентифицировал в сидрах 142 летучих компонента, формирующих аромат яблок и сидров, кроме того, были выделены вещества, свойственные только яблокам определенных сортов. При этом доказано, что часть компонентов может быть использована для сортовой принадлежности и даже географической идентификации сидра (Sousa, 2020).

Краснодарский край является одним из ведущих садоводческих регионов юга России, в котором осуществляется не только выращивание яблок, но и их переработка. В 3–5 лет активно развивается производство традиционных сидров (из свежих яблок), поиск новых сортов яблок, позволяющих производить сидры, отличающиеся органолептическими показателями. В связи с этим, исследование ароматобобразующих компонентов сидров, формирующих сенсорный профиль напитка, является актуальным и имеет большое прикладное значение для выбора и обоснования сортового состава купажей сидров из яблок, произрастающих на территории Краснодарского края.

Цель текущего исследования — установить компонентный состав (ароматический профиль) и концентрации ароматобразующих веществ сортовых сидров, произведенных из 30 различных сортов яблок российской и зарубежной селекции, выращенных в условиях Краснодарского края для выявления перспективных сортов для производства высококачественных сидров с оригинальными органолептическими характеристиками.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в НЦ «Виноделие» и центре коллективного пользования технологическим оборудованием ФГБНУ СКФНЦСВВ.

### Материалы

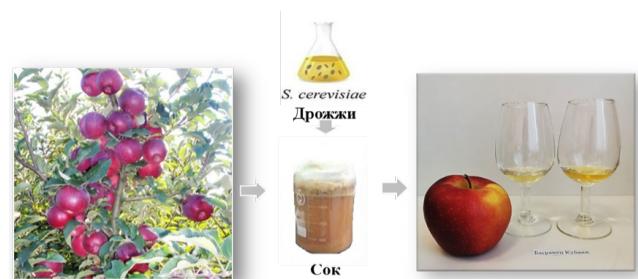
Исследованы 30 образцов сортовых сидров, приготовленных из плодов яблони (далее яблок) отечественной и зарубежной селекции, в том числе из сортов и форм селекции ФГБНУ СКФНЦСВВ (Амулет, Багрянец Кубани, Василиса, Вирджиния, Джин, Золотое летнее, Имрус, Интерпрайс, Кармен, Кетни, Либерти, Лигол, Марго, Орфей, Персиковое, Прикубанское, Ренет Платона, Союз, Флорина, Чемпион, Любимое Дутовой, Экзотика, 12/1-20-16, 12/2-21-15, 12/2-21-36, 12/3-21-6, различных сроков созревания, произрастающих в ЦКП «Исследовательско-селекционная коллекция генетических ресурсов садовых культур», расположеннном в АО ОПХ «Центральное», г. Краснодар. Плоидность большинства сортов составляла  $2n = 2x$ ; для сортов Союз, Экзотика и Джин —  $2n = 3x$ . Отбор плодов яблони, типичных по форме, окраске и степени зрелости с 3–5 деревьев каждого сорта, проводили согласно общепринятой методике сортоизучения (Программа... 1999 г.)<sup>1</sup> в оптимальной зрелости с разных сторон кроны дерева по отношению к сторонам света.

Для изготовления сортовых сидров плоды яблони (по отдельности каждый сорт) мыли, измельчали с помощью дробилки, затем прессовали, отделяя сок (сусло свежее яблочное) от мезги с применением гидравлического пресса. Сусло свежее яблочное сбраживали в лабораторных условиях расой дрож-

жей *Fruit* (род *Saccharomyces cerevisiae*, Германия, «Ербсле Гайзенхайн») при температуре  $18 \pm 1^\circ\text{C}$ . Осветление сброшенного яблочного сусла (сидра) происходило посредством его отстаивания с последующим отделением осадка и дальнейшей фильтрацией. Затем напитки отправляли на отдых и выдержку несколько месяцев, после чего проводили исследование ароматобразующих компонентов.

### Рисунок 1

Трансформация плодов яблони в сидр



### Оборудование

Дробилка-измельчитель и гидравлический пресс (ООО «Ректифай», Россия). Газовый хроматограф Кристалюкс 4000М (2023 г., Россия) с пламенно-ионизационным детектором, с уровнем флуктуационных шумов нулевого сигнала не более  $2 \times 10^{-12}\text{A}$ , с дрейфом нулевого сигнала детектора не более  $2 \times 10^{-12}\text{A}/\text{ч}$ , с пределом детектирования не более  $2 \times 10^{-12}\text{g}/\text{с}$ .

### Методы и процедура исследования

Качественный и количественный состав летучих компонентов и глицерина определяли методом газовой хроматографии путем прямого ввода пробы сидра в разделительную колонку.

Были выбраны следующие условия газохроматографического анализа: кварцевая капиллярная колонка, длиной 50 метров, внутренний диаметр 0,32 мм; неподвижная жидкая фаза — FFAP; температура инжектора хроматографа —  $150^\circ\text{C}$ ; температура подогрева детектора ДИП —  $170^\circ\text{C}$ ; входное давление на колонке 60 кПа; температура терmostата колонок  $50^\circ\text{C}$ , изотерма 7 минут, затем программирование температуры со скоростью

<sup>1</sup> Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел, 1999.

5 °С/мин до 140 °С и выдержка до конца анализа; испаритель с делением потока — коэффициент деления потока — 1:33; поток газа-носителя через колонку 1,21 см<sup>3</sup>/мин; объем пробы — 1 мм<sup>3</sup>; газ-носитель — азот; расход водорода — 25 см<sup>3</sup>/мин; расход воздуха — 250 см<sup>3</sup>/мин; время анализа — 60 мин. Для количественных расчетов содержания компонентов в пробе применяли метод абсолютной калибровки.

Органолептические показатели опытных образцов сортовых сидров оценивала дегустационная комиссия НЦ «Виноделие» ФГБНУ СКФНЦСВ согласно требований ГОСТ 32051–2013<sup>2</sup> по показателям внешний вид, цвет, аромат и вкус по 100 бальной шкале.

## Анализ данных

Испытания образцов сидров по показателям массовой концентрации ароматобразующих компонентов осуществляли в трехкратной повторности с оценкой приемлемости результатов. Результаты выражали в виде среднеарифметических значений с абсолютной погрешностью измерений при доверительной вероятности  $P = 0,95$ . Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием «Пакета анализа» для корреляционного анализа (CORREL) в программе Microsoft Excel 365.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что в состав ароматобразующих компонентов сидров входят летучие кислоты, высшие спирты, сложные эфиры, альдегиды, а также ацетали, гликоли, метанол и глицерин (Таблица 1). По всем изученным группам ароматобразующих компонентов сортовые сидры, приготовленные в лабораторных условиях, имели более высокие их концентрации и глицерина, чем производственные образцы, что можно объяснить отсутствием дополнительных технологических обработок при изготовлении лабораторных образцов сидров.

## Исследование альдегидов опытных образцов сидров

Основным альдегидом в исследуемых сидрах был ацетальдегид, который является вторичным продуктом брожения. Его образование связано с интенсивностью глицеропировиноградного брожения, в результате которого происходит декарбоксилирование пировиноградной кислоты под действием пируватдекарбоксилазы или дезаминирование соответствующих аминокислот. При этом основными факторами, от которых зависит содержание ацетальдегида в готовом напитке, являются исходная концентрация сахаров, раса дрожжей, присутствие диоксида серы (Li, 2001; Garcia, 2020). Во время брожения диоксид серы не использовали, а брожение сусла проводили одной расой дрожжей при одинаковых условиях. Это позволяет считать, что на концентрацию ацетальдегида существенное влияние оказывают сахара и аминокислоты яблок, компонентный состав которых обусловлен сортовыми факторами, в том числе генетическими особенностями (Han, 2022; Won, 2015). Кроме того, на основании проведенных исследований можно считать, что сидры, изготовленные из сортов яблони Амулет, Орфей, Золотое летнее, Чемпион более устойчивы к окислению в сравнении с другими образцами, так как в них обнаружено наименьшее содержание ацетальдегида (Рисунок 2). Массовая концентрация ацетальдегида в промышленных образах имела аналогичные значения.

Согласно Yang (2023), присутствие фурфурола и его производных в напитках брожения может способствовать образованию дымных и пригорелых тонов в аромате. В исследуемых образцах сидров концентрация фурфурола составила от 0 (Вирджиния, Кетни) до 28,47 мг/дм<sup>3</sup> (Любимое Дутовой). Однако дымные оттенки и тона термической обработки в аромате сидров не идентифицированы.

Особую роль в сложении ароматов напитков брожения играет кетон ацетон, предшественником которого является пировиноградная кислота. С его наличием связывают проявление различных ароматов — от сливочных оттенков, свежего масла, зеленого перца, до прогоркших тонов в зависимости от концентрации (Wang, 2022; Picinelli Lobo, 2016; Палагина, 2011). В анализируемых образцах сидров

<sup>2</sup> ГОСТ 32051- 2013 Продукция винодельческая. Методы органолептического анализа. М.: Стандартинформ, 2013.

**Таблица 1**

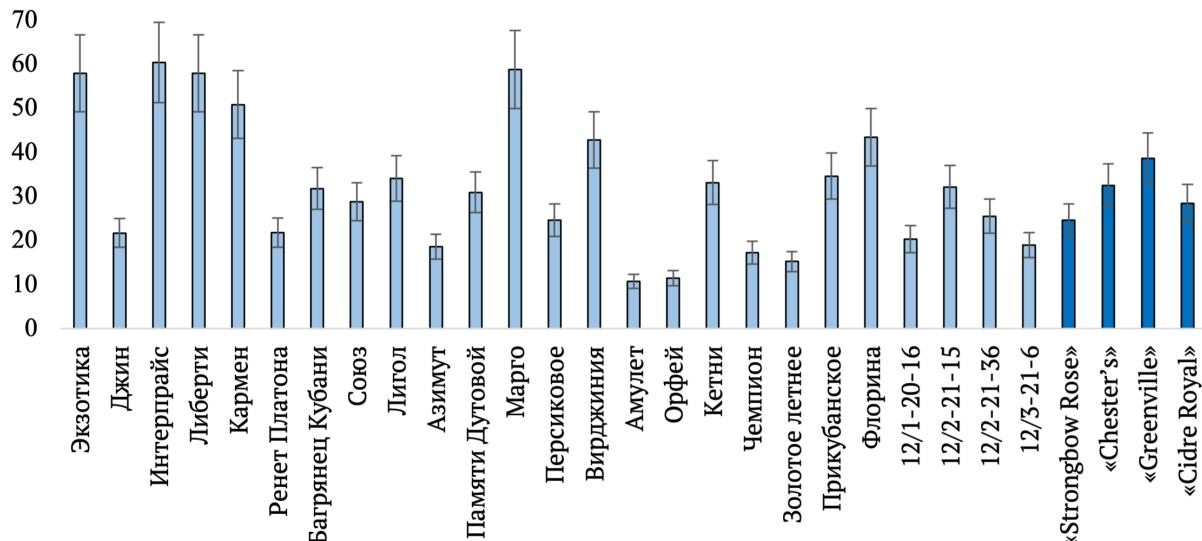
Содержание основных групп ароматобразующих компонентов и глицерина в исследуемых сортовых и промышленных образцах сидров

Наименование сортового сидра	Массовая концентрация			
	глицерина, г/дм <sup>3</sup>	суммы, мг/дм <sup>3</sup>		
		сложных эфиров	высших спиртов	летучих кислот
сортовые сухие сидры, приготовленный в лабораторных условиях				
Экзотика	3,8 ± 0,6	136,84 ± 20,53	191,48 ± 28,72	472,2 ± 70,83
Джин	3,7 ± 0,6	94,48 ± 14,17	123,27 ± 18,49	266,79 ± 40,02
Интерпрайс	2,9 ± 0,4	77,51 ± 11,63	161,21 ± 24,18	462,45 ± 69,37
Либерти	3,7 ± 0,6	70,02 ± 10,50	165,86 ± 24,88	569,20 ± 85,39
Кармен	2,5 ± 0,4	44,60 ± 6,69	148,94 ± 22,34	370,03 ± 55,50
Ренет Платона	4,6 ± 0,7	89,27 ± 13,39	147,48 ± 22,12	486,79 ± 73,02
Багрянец Кубани	2,7 ± 0,4	65,71 ± 9,86	130,40 ± 19,56	392,60 ± 58,89
Любимое Дутовой	2,1 ± 0,3	74,81 ± 11,22	183,46 ± 27,52	250,79 ± 37,62
Союз	3,1 ± 0,5	77,16 ± 11,57	156,82 ± 23,52	392,60 ± 58,89
Лигол	2,4 ± 0,4	50,59 ± 7,59	145,84 ± 21,88	555,55 ± 83,33
Марго	4,1 ± 0,6	82,00 ± 12,30	217,28 ± 32,59	523,50 ± 78,53
Персиковое	4,1 ± 0,6	84,68 ± 12,70	124,87 ± 18,73	242,91 ± 36,44
Вирджиния	3,1 ± 0,5	94,08 ± 14,11	116,06 ± 17,41	279,13 ± 41,87
Амулет	1,9 ± 0,3	41,67 ± 6,25	151,84 ± 22,78	381,56 ± 57,23
Азимут	3,3 ± 0,5	40,04 ± 6,01	164,08 ± 24,61	343,22 ± 51,48
Орфей	3,7 ± 0,6	44,95 ± 6,74	130,56 ± 19,58	298,41 ± 44,76
Кетни	3,6 ± 0,5	141,02 ± 21,15	102,72 ± 15,41	157,71 ± 23,66
Чемпион	2,5 ± 0,4	76,58 ± 11,49	147,96 ± 22,19	438,12 ± 65,72
Золотое летнее	1,8 ± 0,3	43,77 ± 6,57	143,73 ± 21,56	467,04 ± 70,06
Прикубанское	3,9 ± 0,6	38,96 ± 5,84	138,39 ± 20,76	251,50 ± 37,73
Флорина	2,1 ± 0,3	56,82 ± 8,52	129,79 ± 19,47	271,28 ± 40,69
12/1-20-16*	2,8 ± 0,4	42,75 ± 6,41	158,48 ± 23,77	349,52 ± 52,43
12/2-21-15*	2,4 ± 0,4	84,31 ± 12,65	159,12 ± 23,87	187,35 ± 28,10
12/2-21-36*	1,4 ± 0,2	69,32 ± 10,40	212,05 ± 31,81	164,60 ± 24,69
12/3-21-6*	2,8 ± 0,4	76,91 ± 11,54	203,43 ± 30,51	129,81 ± 19,47
<b>минимум</b>	<b>1,4</b>	<b>38,96</b>	<b>102,72</b>	<b>129,81</b>
<b>максимум</b>	<b>4,6</b>	<b>141,02</b>	<b>217,28</b>	<b>569,20</b>
производственные сидры, приобретенные в розничной сети				
Сидр полусладкий газированный «Стронгбоу Розе»	1,1 ± 0,2	38,63 ± 5,79	62,74 ± 9,41	118,46 ± 17,77
Сидр сладкий газированный «CHESTER'S»	1,9 ± 0,3	76,25 ± 11,44	143,56 ± 21,53	156,17 ± 23,43
Сидр полусладкий «Greenvill Natural SEMI SWEET ROSE»	1,7 ± 0,3	73,44 ± 11,02	157,35 ± 23,60	152,48 ± 22,87
Сидр полусладкий «Cidre Royal»	1,9 ± 0,3	78,27 ± 11,74	158,26 ± 23,74	164,23 ± 24,63
<b>минимум</b>	<b>1,1</b>	<b>38,63</b>	<b>62,74</b>	<b>118,46</b>
<b>максимум</b>	<b>1,9</b>	<b>78,27</b>	<b>158,26</b>	<b>164,23</b>

Примечание. \* – сидры, изготовленные из элитных форм яблони селекции ФГБНУ СКФНЦСВБ.

Рисунок 2

Массовая концентрация ацетальдегида в сидрах (мг/дм<sup>3</sup>)



концентрация ацетоина изменялась в диапазоне от 0 (Марго) до 48,27 мг/дм<sup>3</sup> (Чемпион).

Ацетали, участвующие в формировании вкуса и аромата сидров, представлены этилацеталем (фруктовые тона), присутствующим в образцах сидров из сортов яблок Союз, Лигол, Персиковое, Джин, Амулет, Орфей, Прикубанское, Чемпион, Флорина, элитные формы в концентрации до 18 мг/дм<sup>3</sup>. В промышленных образцах сидров концентрация этилацетала не превышала 3,6 мг/дм<sup>3</sup>.

## Исследование летучих кислот опытных образцов сидров

Летучие кислоты изученных образцов сидров были представлены уксусной (наибольшая концентрация), масляной, изомасляной, изовалериановой кислотами, в отдельных вариантах идентифицирована пропионовая кислота. Большая часть этих кислот оказывает негативное влияние на качество сидров, вызывая формирование неприятных и даже посторонних тонов. Однако все перечисленные кислоты являются вторичными или побочными продуктами спиртового брожения и активно участвуют в реакциях этерификации со спиртами, формируя новые ароматы. Наибольшее содержание летучих кислот выявлено в сидрах из сортов яблок Либерти, Лигол, Марго, Багрянец Кубани, Ренет Платона, Интерпрайс. Согласно Won (2015), Beauvoit (2018), Ronald (2020),

концентрация органических кислот в продуктах брожения обусловливается условиями брожения – температурой, расой дрожжей, наличием аэрации и т.п. В проведенных исследованиях условия брожения всех яблочных соков были идентичны. Это позволяет считать, что выявленные различия обусловливаются спецификой ароматобобразующих компонентов конкретного сорта яблони.

## Исследование высших спиртов опытных образцов сидров

Как показали проведенные исследования, концентрация как суммы, так и отдельных высших спиртов, зависела от сорта яблок при одинаковых условиях брожения. Наибольшие суммарные концентрации высших спиртов (до 217,28 мг/дм<sup>3</sup>), обусловленные, главным образом, изоамиловым спиртом (до 119,51 мг/дм<sup>3</sup>), выявлены в сидрах из сортов яблок Марго, Экзотика, Интерпрайс, Либерти. Среди высших спиртов исследуемых сидров в небольших количествах (до 1,82 мг/дм<sup>3</sup>) идентифицирован 1-амилол. Следует отметить, что в промышленных образцах концентрация высших спиртов была значительно ниже, особенно в образце, произведенном из концентрированного сока. Этилацеталь, наличие которого обуславливает фруктовые тона в аромате напитков, присутствовал в образах сидров из сортов яблок Союз, Лигол, Персиковое, Джин, Амулет, Орфей, Прикубанское, Чемпион, Флорина и элитных форм в концентрации

до 18,0 мг/дм<sup>3</sup>. Следует отметить, что в промышленных образцах концентрация высших спиртов была значительно ниже, особенно в образце, произведенном из концентрированного сока.

### Исследование сложных эфиров опытных образцов сидров

Сложные эфиры образуются путем этерификации спиртов и органических кислот, протекающей под действием ферментов дрожжей. Сложные эфиры исследуемых сидров представлены этилацетатом (основной эфир), метилацетатом, этиллактатом, этилвалериатом, этилкапроатом, этилкапринатом, этилкаприлатом, этиллауратом в различных концентрациях. Установлено, что в сидрах из яблок сортов Марго, Экзотика, Интерпрайс, Либерти, Любимое Дутовой и форм 12/2-21-36, 12/3-21-6, накопилось наибольшее количество эфиров. В отдельных образцах сидров (Персиковое, Ренет Платона, Вирджиния, Джин, Экзотика, Марго) идентифицирован изоамилацетат в концентрации от 0,34 до 1,25 мг/дм<sup>3</sup>. Ее присутствие привнесло в напитки фруктовые тона, преимущественно грушевые и сухофруктовые, что согласуется с органолептической оценкой (Рисунок 3).

Однако при исследовании ароматобразующих компонентов сидров из вышеперечисленных сортов корреляции между концентрацией изоами-

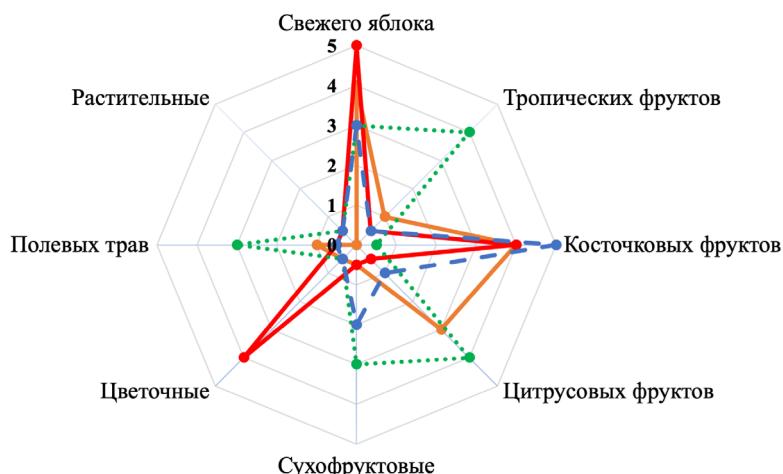
лацетата и концентрациями изоамилового спирта и уксусной кислоты не установлено, что позволяет считать что в свежем яблочном сусле присутствуют не идентифицированные нами соединения, в результате трансформации которых и образуется изоамилацетат. Так по данным ученых (Bernardi, 2023, Januszek, 2020) механизм образования изоамилацетата связан с активностью фермента эстеразы, синтезированного дрожжевыми клетками определенных штаммов дрожжей из соответствующих субстратов сбраживаемой среды.

В ряде образцов идентифицированы следующие эфиры: бутилацетат (Джин, Орфей, Ренет Платона, Азимут), бутилбутаноат (Экзотика, Вирджиния, Кетни, Багрянец Кубани, Ренет Платона), гексилацетат (Чемпион, Вирджиния, Персиковое), этилоктаноат (Экзотика, Либерти, Багрянец Кубани, Союз, Ренет Платона), участвующие в формировании фруктово-ягодных тонов или усиливающие их проявление (Wei, 2020). В отдельных образцах идентифицированы следующие соединения на уровне предпороговых концентраций: геранилацетат (Экзотика, Джин, Вирджиния), обладающий цветочным запахом; терпеновые соединения (гераниол, лимонен, цитранелол), имеющие цитрусовые оттенки (Xiao, 2019) (Либерти, Кетни, Прикубанское, формы 12/2-21-15 и 12/3-21-6). При этом следует учитывать, что предпороговые концентрации этих соединений способны влиять на восприятие аромата за счет аддитивного воздействия соединений

Рисунок 3

Профилограмма оттенков аромата сидров из сортов Багрянец Кубани, Прикубанское, Ренет Платона, Персиковое

—●— Багрянец Кубани   —●— Прикубанское   ...●... Ренет Платона   —●— Персиковое



с аналогичной структурой или запахом (Крикунова, 2022; Yu, 2022).

Эфиры жирных кислот представлены этиллауратом, концентрация которого варьировала в диапазоне от 0 (Вирджиния, Амулет, Кетни, Золотое летнее, Флорина) до 6,85–10,46 мг/дм<sup>3</sup> (Джин, Персиковое, Багрянец Кубани, Интерпрайс), а в сидре из сорта яблок Экзотика концентрация этиллаурана превысила 60 мг/дм<sup>3</sup>. Полученные результаты позволяют сделать вывод о зависимости концентрации эфиров от содержания органических кислот в яблоках. В промышленных образцах сидров минимальное содержание сложных эфиров было в 2,5 раза меньше в сравнении с экспериментальными вариантами.

## Исследование многоатомных летучих соединений опытных образцов сидров

К многоатомным летучим соединениям сидров относятся также гликоли — меза и рацемическая формы 2,3-бутиленгликоля, являющиеся продуктом спиртовой ферментации яблочного сока и оказывающие влияние на вкус напитка. Концентрация 2,3-бутиленгликоля варьировала в очень широком диапазоне и существенно зависела от сортовых особенностей яблок. Наиболее высокие концентрации этого компонента (до 400 мг/дм<sup>3</sup>) выявлены в сидрах из сортов яблок Багрянец Кубани, Прикубанское, Любимое Дутовой.

Фенилэтанол обладает тонким ароматом чайной розы, который даже при очень низкой концентрации (на уровне 10 мкг/дм<sup>3</sup>) может заметно украсить аромат сидра. Проведенные исследования показали, что концентрация фенилэтанола варьировала от 0 (Союз, Интерпрайс) до 25 мг/дм<sup>3</sup> (Лигол, Персиковое, Чемпион, Золотое летнее, Любимое Дутовой).

Бензиловый спирт (Марго, Интерпрайс, Либерти, Флорина, Орфей, Кетни, Кармен, Ренет Платона, Багрянец Кубани, Лигол, Джин, Вирджиния, Персиковое) способен придать напитку легкие тона миндаля и тропических фруктов даже в минимальных концентрациях (0,2–1,0 мг/дм<sup>3</sup>). Кроме того, бензиловый спирт в кислой среде способен образовывать этиловые эфиры, способствуя проявлению ореховых тонов во вкусе и аромате сидров (Yu, 2022). Это позволяет считать бензиловый спирт

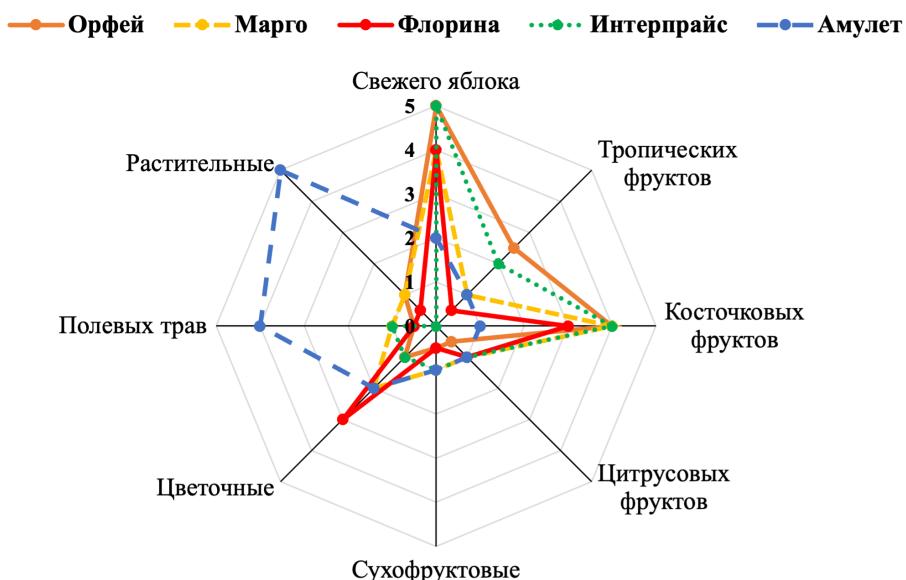
одним из компонентов, способных оказывать заметное влияние на формирование сенсорных характеристик сидров. В анализируемых образцах концентрация бензилового спирта была на уровне 1,03–1,85 мг/дм<sup>3</sup> (Экзотика, Орфей, Интерпрайс, Флорина (Рисунок 4), форма 12/1–20–16). Именно эти сорта при дегустации сидров характеризовались многообразием ароматических оттенков.

Метанол в минимальных концентрациях всегда присутствует в продуктах брожения, особенно фруктовых соков. При брожении яблочного сока протекает реакция деметоксилирования пектиновых веществ, содержащихся в плодах яблони, под действием фермента пектинэтилэстеразы. Поэтому массовая концентрация метанола зависит от исходной концентрации пектиновых соединений в яблоках конкретного сорта. В готовых сортовых сидрах концентрация метанола составила от 2–93 мг/дм<sup>3</sup> в зависимости от сорта яблок. Наибольшее количество метанола выявлено в образцах сидров из яблок сортов Амулет, Кетни, Вирджиния, Золотое летнее и формы 12/2–21–36.

Из многоатомных спиртов во всех опытных образцах сидров идентифицирован глицерин, который является важнейшим дескриптором полноты и мягкости вкуса напитков, полученных путем брожения. Кроме того, значение массовой концентрации глицерина является нормируемым (не менее 1,0 г/дм<sup>3</sup>) и рекомендуется в качестве дополнительного показателя для идентификации сидров традиционных согласно ГОСТ Р 58011–2017 Сидры традиционные. Технические условия. Массовая концентрация глицерина в исследуемых образцах варьировала в широком диапазоне и зависела от исходного содержания сахаров в яблочной соке и активности соответствующих ферментов конкретного сорта (формы) яблони. Концентрация глицерина в лабораторных образцах варьировала от 1,4 до 4,6 г/дм<sup>3</sup> в зависимости от сорта (формы) яблони. Выделились сидры, изготовленные из сортов Ренет Платона, Марго, Персиковое, Орфей, Прикубанско (см. таблицу). Следует отметить, что в промышленных образцах, особенно приготовленных из концентрированного яблочного сока, концентрация глицерина уступала лабораторным образцам и составляла 1,1–1,9 г/дм<sup>3</sup>.

#### Рисунок 4

Профилограмма оттенков аромата сидров из сортов Орфей, Марго, Флорина, Интерпрайс, Амулет



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате исследований изучен компонентный состав (ароматический профиль) сортовых сидров, приготовленных из различных сортов яблони, произрастающих в условиях Краснодарского края. Было установлено, что летучие компоненты сидров представлены следующими группами веществ (в порядке убывания): летучие кислоты, высшие спирты, сложные эфиры, альдегиды, ацетали, гликоли, метанол. Установлены диапазоны варьирования основных групп ароматобразующих компонентов сидров, произведенных из различных сортов яблони отечественной и зарубежной селекции.

По всем изученным группам ароматобразующих компонентов сортовые сидры, приготовленные в лабораторных условиях, имели более высокие их концентрации и глицерина, чем производственные образцы. Данные можно объяснить отсутствием дополнительных технологических обработок при изготовлении опытных образцов. Так как лабораторные образцы сидров были приготовлены из плодов яблони различных сортов, выращенных в одинаковых агроклиматических и агротехнических условиях, и переработаны по одной технологии в идентичных условиях, можно сделать вывод о том, что сортовые особенности яблони оказали значительное влияние на компонентный состав ароматических веществ и в последующем на органолептические характеристики яблочного сидра.

В результате изучения ароматического профиля и органолептических показателей приготовленных сидров выделились сорта и формы яблони различного эколого-географического происхождения, произрастающие в Краснодарском крае (Багрянец Кубани, Прикубанское, Ренет Платона, Персиковое, Орфей, Марго, Флорина, Интерпрайс, Амулет), перспективные для производства сидров. Результаты исследования могут быть применены при выборе сортов яблони для закладки садов с целью переработки плодов яблони на сидры.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение ароматического профиля сидров, приготовленных из различных сортов яблони, в том числе произрастающих в условиях других регионов Российской Федерации, для возможного установления сортовой принадлежности и даже географической идентификации сидров.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Агеева Наталья Михайловна:** руководство исследованием; концептуализация; анализ данных; создание рукописи.

**Ширшова Анастасия Александровна:** сбор и переработка плодов яблони в сидр; проведение исследований; визуализация данных; создание рукописи и ее редактирование.

**Храпов Антон Александрович:** приготовление опытных образцов сидров; проведение исследований.

**Ульяновская Елена Владимировна:** концептуализация; подбор сортов яблони; анализ данных-создание рукописи.

## ЛИТЕРАТУРА

- Егорова, О. С., Акбулатова, Д. Р., & Шилкин, А. А. (2023). Факторы, влияющие на качество и сроки годности напитков брожения из плодового сырья: Обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 14–32. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.447>
- Egorova, O. S., Akbulatova, D. R., & Shilkin, A. A. (2023). Factors affecting the quality and shelf life of fermented beverages from fruit raw materials: A Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 14–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.447>
- Крикунова, Л. Н., Дубинина, Е. В., Ульянова, Е. В., Моисеева, А. А., & Томгрова, С. М. (2022). Научно-практические аспекты оценки биохимического состава сырья для производства фруктовых дистиллятов. *Пищевые системы*, 5(2), 121–131. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-121-131>
- Krikunova, L. N., Dubinina, E. V., Ulyanova, E. V., Moiseeva, A. A., & Tomgorova, S. M. (2022). Scientific and practical aspects of assessing the biochemical composition of raw materials for the production of fruit distillateS. *Food Systems*, 5(2), 121–131. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-121-131>
- Палагина, М. В., Горбачева, А. А., Захаренко, Е. М., & Тельтевская, О. П. (2011). Новые виноматериалы из дальневосточного ягодного сырья для вин специальной технологии. *Виноделие и виноградарство*, 5, 12–13.
- Palagina, M. V., Gorbacheva, A. A., Zakharenko, E. M., & Teltevskaya, O. P. (2011). New wine materials from Far Eastern berry raw materials for special technology wines. *Vinogradarstvi i Vinodelie*, 5, 12–13. (In Russ.)
- Почицкая, И. М., Росляков, Ю. Ф., Комарова, Н. В., & Рослик, В. Л. (2019). Исследование компонентов, формирующих органолептические характеристики плодов и ягод. *Техника и технология пищевых производств*, 49(1), 50–61. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-50-61>
- Pochitskaya, I. M., Roslyakov, Yu. F., Komarova, N. V. , & Roslic, V.I. (2019). Sensory components of fruits and berries. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(1), 50–61. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-50-61>
- Ширшова, А. А., Агеева, Н. М., Прах, А. В., & Шелудько, О. Н. (2020). Влияние сорта яблок на концентрацию аминокислот в свежих и сброженных яблочных соках и концентрацию ароматообразующих компонентов сидров. *Плодоводство и виноградарство Юга России*, 66(6), 369–380. <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-6-66-369-381>
- Shirshova, A. A., Ageeva, N. M., Prakh, A. V., & Sheludko, O. N. (2020). Influence of chemical composition of varieties of apples on the physico-chemical characteristics of fermented juice for the production of fruit wines. *Fruit Growing and Viticulture of South Russia*, 66(6), 369–380. (In Russ.) <https://doi.org/10.30679/2219-5335-2020-6-66-369-381>
- Antón, M. J., Valles, B. S., Hevia A. G., & Lobo A. P. (2014). Aromatic profile of ciders by chemical quantitative, gas chromatography-olfactometry, and sensory analysis. *Journal of Food Science*, 79(1), 92–99. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12323>
- Beauvoit, B., Belouah, I., & Bertin, N. (2018). Putting primary metabolism into perspective to obtain better fruits. *Annals of Botany*, 122(4), 1–21. <https://doi.org/10.1093/aob/mcy057>
- Bernardi, B., Michling, F., Fröhlich, J., & Wendland, J. (2023). Mosaic genome of a British cider yeast. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(13), 11232. <https://doi.org/10.3390/ijms241311232>
- Garcia, L., Perrin, C., Farines, V., Garcia, F., Caillé, S., & Saucier, C. (2022). Impact of acetaldehyde addition on the sensory perception of Syrah red wines. *Foods*, 11(12), 1693. <https://doi.org/10.3390/foods11121693>
- Guichard, H., Poupart, P., Legoahec, L., Millet, M., & Bauduin, R. (2019). Brettanomyces anomalus, a double drawback for cider aroma. *LWT*, 102, 214–222. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.033>
- Han, Y., Su, Z., & Du, J. (2023). Effects of apple storage period on the organic acids and volatiles in apple wine. *LWT*, 173, 114389. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114389>
- Han, Y., & Du J. (2022). Relationship of the methanol production, pectin and pectinase activity during apple wine fermentation and aging. *Food Research International*, 159, 111645. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111645>
- He, Y., Wang, X., Li, P., Lv, Y., Nan, H., Wen, L., & Wang Z. (2023). Research progress of wine aroma components: A critical review. *Food Chemistry*, 402, 134491. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134491>
- He, W. J., Laaksonen, O., Tian, Y., Heinonen, M., Bitz, L. , & Yang, B. (2022). Phenolic compound profiles in Finnish apple (*Malus × domestica* Borkh.) juices and ciders fermented with *Saccharomyces cerevisiae* and *Schizosaccharomyces pombe* strains. *Food Chemistry*, 373, 131437. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131437>

- Jackson, R. S. (2020). Wine science. Principles and applications, food science and technology. In *Chemical constituents of grapes and wine* (pp. 375–459). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816118-0.00006-4>
- Januszek, M., Satora, P., Wajda, L., & Tarko, T. (2020). *Saccharomyces bayanus* enhances volatile profile of apple brandies. *Molecules*, 25(14), 3127. <https://doi.org/10.3390/molecules25143127>
- Ji, G., Liu, G., Li, B., Tan, H., Zheng, R., Sun, X., & He, F. (2023). Influence on the aroma substances and functional ingredients of apple juice by lactic acid bacteria fermentation. *Food Bioscience*, 51, 102337. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.102337>
- Liu, C., Li, M., & Tao, R. (2022). Effect of *Saccharomyces cerevisiae* and non-*Saccharomyces* strains on alcoholic fermentation behavior and aroma profile of yellow-fleshed peach wine. *LWT*, 155, 112993. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112993>
- Liu, S. Q., Lou, Y., & Li, Y. (2023). Aroma characteristics of volatile compounds brought by variations in microbes in winemaking. *Food Chemistry*, 420, 136075. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.136075>
- Liu, S. Q., & Pilone, G. J. (2001). An overview of formation and roles of acetaldehyde in winemaking with emphasis on microbiological implications. *International Journal of Food Science & Technology*, 35(1), 49–61. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2000.00341.x>
- Medina, S., Perestrelo, R., Pereira, R., & Câmara, J. S. (2020). Evaluation of volatilomic fingerprint from apple fruits to ciders: a useful tool to find putative biomarkers for each apple variety. *Foods*, 9(12), 1830. <https://doi.org/10.3390/foods9121830>
- Nikfardjam, M. P., & Maier, D. (2011). Development of a headspace trap HRGC/MS method for the assessment of the relevance of certain aroma compounds on the sensorial characteristics of commercial apple juice. *Food Chemistry*, 126(4), 1926–1933. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.021>
- Picinelli Lobo, A., Antón-Díaz, M. J., Mangas Alonso, J. J., & Suárez Valles, B. (2016). Characterization of Spanish ciders by means of chemical and olfactometric profiles and chemometrics. *Food Chemistry*, 213, 505–513. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.06.063>
- Riekstina-Dolge, R., Kruma, Z., & Karklina, D. (2012). Sensory properties and chemical composition of cider depending on apple variety. *Research for Rural Development*, 4, 102–108.
- Ruppert, V., Innerhofer, G., Voit, J., Hiden, P., & Siegmund, B. (2021). The impact of the fermentation strategy on the flavour formation of Ilzer Rose (*Malus domestica* Borkh.) Apple wine. *Foods*, 10(10), 2348. <https://doi.org/10.3390/foods10102348>
- Spaho, N., Gaši, F., Leitner, E., Blesić, M., Akagić, A., & Žuljević, S. O. (2021). Characterization of volatile compounds and flavor in spirits of old apple and pear cultivars from the Balkan region. *Foods*, 10(6), 1258. <https://doi.org/10.3390/foods10061258>
- Wang, N., Zhu, Y., Zhu, R., Xiao, Y., & Qiu, J. (2022). Revealing the co-fermentation of *Saccharomyces cerevisiae* and *Schizosaccharomyces pombe* on the quality of cider based on the metabolomic and transcriptomic analysis. *LWT*, 168, 113943. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113943>
- Wei, J., Zhang, Y., Qiu, Y., Guo, H., Ju, H., & Wang, Y. (2020). Chemical composition, sensorial properties, and aroma-active compounds of ciders fermented with *Hanseniaspora osmophila* and *Torulaspora quercuum* in co- and sequential fermentations. *Food Chemistry*, 306, 125623. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125623>
- Won, S. Y., Seo, J. S., Kwak, H. S., Lee, Y., Kim, M., Shim, H. S., & Jeong, Y. (2015). Quality characteristics and quantification of acetaldehyde and methanol in apple wine fermentation by various pre-treatments of mash. *Preventive Nutrition and Food Science*, 20(4), 292–297. <https://doi.org/10.3746/pnf.2015.20.4.292>
- Xiao, Z., Luo, J., Niu, Y., Wang, P., Wang, R., & Sun, X. (2019). Impact of esters on rose essential oil floral alcohol aroma expression in model solution. *Food Research International*, 116, 211–222. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.015>
- Xu, Y., Fan, W., & Qian, M. C. (2007). Characterization of aroma compounds in apple cider using solvent-assisted flavor evaporation and headspace solid-phase microextraction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(8), 3051–7. <https://doi.org/10.1021/jf0631732>
- Yang, W., You, Y., Ling, M., Ye, D., Shi, Y., Duan, C., & Lan, Y. (2023). Identification of the key odor-active compounds responsible for varietal smoky aroma in wines made from the East Asian species. *Food Research International*, 171, 113052. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113052>
- Yu, W., Zhu, R., Zhu, R., Bai, J., Qiu, J., Wu, Y., Zhong, K., & Gao, H. (2022). Insight into the characteristics of cider fermented by single and co-culture with *Saccharomyces cerevisiae* and *Schizosaccharomyces pombe* based on metabolomic and transcriptomic approaches. *LWT*, 163, 113538. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113538>
- Zhang, Z., Lan, Q., Yu, Y., Zhou, J., & Lu, H. (2022). Comparative metabolome and transcriptome analyses of the properties of *Kluyveromyces marxianus* and *Saccharomyces* yeasts in apple cider fermentation. *Food Chemistry: Molecular Sciences*, 4, 100095. <https://doi.org/10.1016/j.fochms.2022.100095>

# Квалиметрическая оценка антиоксидантной активности пищевых антиокислителей в мясных системах

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), г. Москва, Российская Федерация

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**  
Сергей Николаевич Кидяев  
E-mail: kidaevsn@mgupp.ru

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:**  
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**  
Кидяев, С.Н., Литвинова, Е.В., Кашеварова, И.А., & Данильчук, Т.Н. (2024). Квалиметрическая оценка антиоксидантной активности пищевых антиокислителей в мясных системах. *Хранение и переработка сельхозсыревья*, 32(2), 79–88.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.488>

**ПОСТУПИЛА:** 24.09.2023  
**ДОРАБОТАНА:** 06.09.2024  
**ПРИНЯТА:** 15.06.2024  
**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.06.2024

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**  
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Окисление липидов является одной из основных причин ухудшения качества мясных продуктов при их хранении. Под действием тканевых ферментов, а также в результате микробиологической контаминации значительно снижается качество мясных рубленых полуфабрикатов при хранении. Применение растительных экстрактов, обладающих антиоксидантной активностью в производстве рубленых фаршей представляется устойчивым вариантом снижения потребления синтетических антиокислителей.

**Цель:** обоснование эффективности использования экстракта розмарина как антиокислителя для мясных систем и сравнительная квалиметрическая оценка активности экстракта розмарина и изоаскорбата натрия в процессе хранения мясных фаршей.

**Материалы методы:** Образцы рубленого фарша, изготовленные из свинины жилованной колбасной и говядины 2 сорта, в соотношении 1:1, с добавлением шпика, соли и экстракта розмарина (ЭР) в количестве 0,2 %. В качестве контрольного образца использовали образец фарша без добавления антиокислителей. В образцах фаршей изучали показатели окислительной стабильности по времени индукционного периода (час.) на приборе Rancimat по ГОСТ 31758–2012, а также органолептические показатели по ГОСТ 9959–2015 “Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки”, изменение pH осуществляли с помощью портативного pH-метра Testo 205.

**Результаты:** В статье приведены экспериментальные данные по изучению органолептических, физико-химических показателей мясных фаршей, а также показатели их стабильности в процессе хранения (pH, оценка времени индукции). Проведена сравнительная оценка эффективности натуральных и искусственных антиокислителей.

**Выводы:** Экспериментально подтверждена целесообразность использования экстракта розмарина. Установлено, что добавление экстракта розмарина способствует продлению срока хранения, повышению устойчивости продукта к окислению. Доказано, что использование экстракта розмарина для стабилизации липидов мясного фарша позволяет снизить скорость образования продуктов гидролиза, первичного и вторичного окисления. Полученные экспериментальные данные могут быть использованы в производстве колбасных изделий и рубленых полуфабрикатов.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

рубленые полуфабрикаты; экстракт розмарина; антиоксидантная активность; изоаскорбат натрия; окислительная порча

# Qualimetric Assessment of the Antioxidant Activity of Food Antioxidants in Meat Systems

Russian Biotechnological University,  
Moscow, Russian Federation

Sergey N. Kidayev, Elena V. Litvinova, Irina A. Kashevarova,  
Tatyana N. Danilchuk

**CORRESPONDENCE:**

**Sergey N. Kidayev**  
E-mail: kidaevsn@mgupp.ru

**DATA AVAILABILITY:**

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

**FOR CITATIONS:**

Kidyaev, S.N., Litvinova, E.V., Kashevarova, I.A., & Danilchuk, T.N. (2024). Qualimetric assessment of the antioxidant activity of food antioxidants in meat systems. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 79-88.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.488>

**RECEIVED:** 24.09.2023

**REVISED:** 06.09.2024

**ACCEPTED:** 15.06.2024

**PUBLISHED:** 30.06.2024

**DECLARATION OF COMPETING**

**INTEREST:** none declared.



**ABSTRACT**

**Introduction:** Lipid oxidation is one of the main reasons for the deterioration of the quality of meat products during their storage. Under the influence of tissue enzymes, as well as as a result of microbiological contamination, the quality of chopped semi-finished meat products during storage is significantly reduced. The use of plant extracts with antioxidant activity in the production of minced meat seems to be a sustainable option for reducing the consumption of synthetic antioxidants.

**Purpose:** substantiation of the effectiveness of using rosemary extract as an antioxidant for meat systems and comparative qualimetric assessment of the activity of rosemary extract and sodium isoascorbate during the storage of minced meat.

**Materials and Methods:** Samples of minced meat made from trimmed pork and 2nd grade beef, in a 1:1 ratio, with the addition of fat, salt and rosemary extract (RE) in the amount of 0.2%. A sample of minced meat without the addition of antioxidants was used as a control sample. In the minced meat samples, the indicators of oxidative stability were studied according to the time of the induction period (hours) on the Rancimat device in accordance with GOST 31758–2012, as well as organoleptic indicators in accordance with GOST 9959–2015 “Meat and meat products. General conditions for organoleptic assessment”, pH changes were carried out using a Testo 205 portable pH meter.

**Results:** The article presents experimental data on the study of organoleptic, physico-chemical parameters of minced meat, as well as indicators of their stability during storage (pH, assessment of induction time). A comparative assessment of the effectiveness of natural and artificial antioxidants was carried out.

**Conclusion:** The feasibility of using rosemary extract has been experimentally confirmed. It has been established that the addition of rosemary extract helps to extend shelf life and increase the resistance of the product to oxidation. It has been proven that the use of rosemary extract to stabilize the lipids of minced meat can reduce the rate of hydrolysis products formation, as well as primary and secondary oxidation. The experimental data obtained can be used in the production of sausages and minced semi-finished products.

**KEYWORDS**

chopped semi-finished products; rosemary extract; antioxidant activity; sodium isoascorbate; oxidative spoilage

## ВВЕДЕНИЕ

Современный ритм жизни диктует производителю необходимость расширения линейки продуктов питания готовых к употреблению или требующих термической обработки только в домашних условиях (Hoffman, 2023; Коликова, 2022; Якимова, 2023). Вследствие окислительной нестабильности жировой фракции мясной системы, возможно ухудшение качественных показателей пищевых продуктов с образованием соединений, негативно влияющих на здоровье человека (Bolumar, 2016; Ромашенко, 2019; Васюкова, 2021). Искусственные консерванты широко используются мясной промышленностью для контроля химической, микробиологической и ферментативной деструкции, а также для увеличения срока годности, безопасности и качества мясных продуктов (Донскова, 2021). Однако сообщения о токсикологическом и канцерогенном воздействии этих добавок, а также предпочтения потребителей в отношении натуральных или растительных пищевых консервантов подтолкнули мясную промышленность искать им натуральные альтернативы (Ansarian, 2022; Wang, 2023; Zhang, 2022).

Для замедления окисления липидов необходимы различные подходы, такие как устранение факторов, способствующих окислению липидов, или использование антиокислителей (Hygreeva, 2014). Традиционно в сегменте пищевой промышленности широко используется множество антиокислителей, таких как динатриевая соль этилендиаминететрауксусной кислоты, аскорбиновая кислота, галловая кислота, лецитин и токоферолы. Антиоксидантная эффективность различных антиокислителей в мясных продуктах была предметом исследований довольно долгое время (Savani, 2023; Hadidi, 2022; Хуссайне, 2022).

Однако, несмотря на все положительные стороны, которые могут привнести в продукт искусственные антиокислители, эти добавки остаются синтетическими по своей природе. Тенденция перехода потребителей на продукты с натуральным составом носит глобальный характер, поэтому существует растущий потребительский спрос на продукты с надписью «без искусственных пищевых добавок» (Smaoui, 2022; Зимняков, 2015). Применение натуральных антиокислителей в производстве мясных полуфабрикатов представляется устойчивым вариантом снижения потребления синтетических антиокислителей. Пищевая промышленность сегодня

предпочитает недорогие натуральные добавки вместо синтетических (Lepecka, 2023; Du, 2023).

Наилучшей стратегией увеличения срока годности и повышения окислительной стабильности жировой фракции является внесение синтетических и природных антиокислителей. Природные антиокислители в рецептуре пищевых систем способствуют получению продукта с «чистой» этикеткой (без использования пищевых добавок).

В существующих реалиях специалисты отрасли, находясь в поисках источников пищевых антиокислителей, все чаще обращаются к растительному сырью (лекарственное сырье и ароматические травы) (Ahmadi, 2022; Патракова, 2021; Aala, 2023; Tamkuté, 2022). Антиоксидантная активность растительных производных в основном связана с присутствием фенольных соединений, таких как карнозиновая кислота и карнозол, которые являются основными антиоксидантными компонентами экстрактов розмарина (*Rosmarinus officinalis L.*) (Song, 2020). Благодаря сильной антиоксидантной эффективности экстракт розмарина широко используется в пищевой промышленности в качестве технологического антиокислителя для продления срока годности продуктов (Jalal, 2023; Hu, 2022; Мелехина, 2021).

Экстракт розмарина продемонстрировал и различные полезные эффекты для здоровья, такие как противовоспалительное, противораковое, антибактериальное и противогрибковое действие (Banares, 2022; ). Около 90% активности экстракта розмарина как антиокислителя связано с соединениями карнозиновой кислоты и карнозола. Эти соединения могут нейтрализовать гидропероксидные радикалы, что оказывает сильное влияние на перекисное окисление липидов во время окислительного процесса, поскольку ингибитирует его распространение и, следовательно, выход первичных продуктов окисления. В системе на основе белков и липидов карнозиновая кислота и карнозол эффективно хелатируют железо и удаляют пероксильные радикалы (Yadollahi, 2023; Шарыгина, 2011). Этот эффект у экстракта розмарина выше, чем у антиокислителей, таких как бутилгидрокситолуол и бутилгидроксианизол (Banares, 2022; Kaur, 2021; Serdaroglu, 2023).

Розмарин является одним из наиболее перспективных, универсальных и наиболее изученных натуральных консервантов, которые снижают скорость

окислительных реакций и рост микробов в мясных продуктах, тем самым продлевая срок их хранения (Jalal, 2023; Banares, 2022). Многообещающие биологические и функциональные характеристики связаны с высокой антиоксидантной активностью розмарина и обусловлены присутствием биоактивных соединений, таких как фенольные дитерпены, флавоноиды и тритерпены. Эти биоактивные вещества хорошо известны своими антиоксидантными, противомикробными, противовоспалительными, противоопухолевыми и нейропротекторными свойствами (Хуссайне, 2022; Маюровская, 2021).

Целью настоящего исследования являлось обоснование эффективности использования экстракта розмарина как антиокислителя для мясных систем и сравнительная квалиметрическая оценка активности экстракта розмарина и изоаскорбата натрия в процессе хранения мясных фаршей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

Объектами исследования были образцы рубленого фарша, изготовленные из свинины и говядины, в соотношении 1:1, с добавлением шпика, пищевой соли и экстракта розмарина (ЭР) в количестве 0,2% или синтетического антиокислителя изоаскорбата натрия (ИН) (пищевая добавка Е-316) в количестве 0,2%. В качестве контрольного образца использовали образец фарша без добавления антиокислителей. Готовые образцы фарша упаковывали в пластико-

Таблица 1

Рецептура мясных рубленых полуфабрикатов

Наименование сырья и ингредиентов	Контроль кг	Образец 1 (0,2 % ИН) кг	Образец 2 (0,2 % ЭР) кг
Свинина	44	44	44
Говядина	44	44	44
Шпик	4	4	4
Вода	7	7	7
Соль	1	1	1
Изоаскорбат натрия	-	0,2	-
Экстракт розмарин	-	-	0,2
Итого	100	100,2	100,2

вые контейнеры под пищевой пленкой и хранили при температуре  $0 \pm 2^{\circ}\text{C}$  в течение 14 сут.

Рецептура фарша рубленых полуфабрикатов представлена в Таблице 1.

Внешний вид экстракта розмарина, применяемого в данном исследовании, представлен на Рисунке 1.

Рисунок 1

Внешний вид экстракта розмарина



### Методы и инструменты

Сенсорный анализ полученных образцов фарша проводила экспертная комиссия в составе 15 человек по таким показателям как внешний вид, цвет и запах согласно ГОСТ 9959–2015 Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки.

Концентрацию ионов водорода образцов фарша определяли с помощью портативного pH-метра Testo 205, действующего на основе принципа определения степени активности ионов водорода в пищевой системе.

Окислительную стабильность фарша оценивали по времени индукционного периода (час.) на приборе Rancimat по ГОСТ 31758–2012. Метод Rancimat является ускоренным испытанием на окисление. Через образец, помещенный в реакционный сосуд пропускают воздух при постоянной повышенной температуре. В таких условиях происходит окисление жирных кислот. Легкоиспарающиеся вторичные продукты реакции переносятся потоком воздуха в измерительную ячейку и абсорбируются в измерительном растворе (деионизованная вода). В измерительной ячейке непрерывно записывается значение электропроводности, которое повышается при абсорбции продуктов реакции, таким образом

детектируется их присутствие. Время, которое потребовалось для обнаружения вторичных продуктов реакции называют индукционным периодом, временной диапазон, характеризующий окислительную стабильность пищевой системы.

Полученные результаты обрабатывали, используя общепринятые методы вариационной статистики. Различия показателей считали достоверными при значениях достоверного интервала  $\geq 0,05$ .

## Процедура исследования

На первом этапе работы готовили образцы рубленых полуфабрикатов и вносили образцы пищевых антиокислителей (экстракт розмарина и изоаскорбат натрия). Далее проводили органолептические и физико-химические испытания образцов.

Следующим этапом выступило исследование окислительной стабильности фаршей на прибо-

ре Rancimat. Создавались искусственные условия быстрого окисления за счет пропускания воздуха через продукт при постоянной повышенной температуре. В таких условиях происходит окисление жирных кислот. После выполнения экспериментальной части работы проводили анализ и статистическую обработку полученных данных.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Оценка органолептических показателей пищевых систем

Согласно методологии и общей схеме проведения исследования после выработки рубленых полуфабрикатов проведена оценка органолептических и физико-химических показателей пищевых систем. Результаты сенсорного анализа образцов фарша представлены в Таблице 2.

Таблица 2

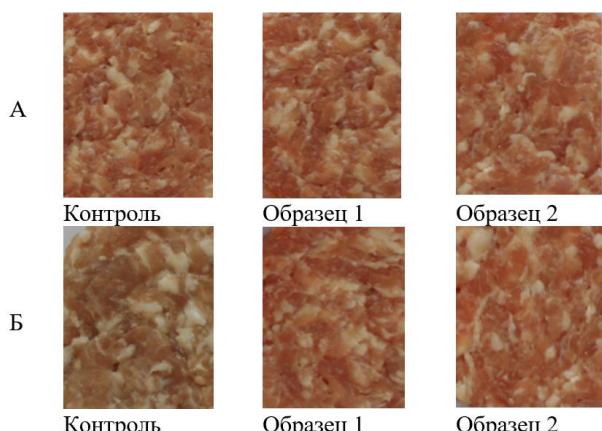
Результаты сенсорного анализа образцов фарша мясных рубленых полуфабрикатов

Наименование показателя	Контроль	Образец 1 (0,2 % ИН)	Образец 2 (0,2 % ЭР)
<b>После выработки</b>			
Внешний вид	Однородная мясная масса без включений костей, хрящей, сухожилий		
Цвет	Красный с белыми включениями шпика		
Запах	Свойственный свежему мясу свинины и говядины		
<b>4 сут</b>			
Внешний вид	Однородная мясная масса без включений костей, хрящей, сухожилий		
Цвет	Красный с белыми включениями шпика		
Запах	Свойственный свежему мясу свинины и говядины		
<b>8 сут</b>			
Внешний вид	Однородная мясная масса без включений костей, хрящей, сухожилий		
Цвет	Красноватый с сероватыми пятнами	Бледно-красный	
Запах	Затхлый	Специфический, свойственный мясу свинине и говядине	
<b>11 сут</b>			
Внешний вид	Однородная мясная масса без включений костей, хрящей, сухожилий		
Цвет	Серо-розовый	Бледно-розовый с блестящим налетом	Розовый с сероватыми пятнами
Запах	Характерный запах порчи, гнилостный	Легкий специфический посторонний, химический	Свойственный мясу свинины и говядины
<b>14 сут</b>			
Внешний вид	Однородная мясная масса без включений костей, хрящей, сухожилий		
Цвет	Серо-розовый с зеленоватым оттенком	Бледно-розовый с сероватым оттенком	
Запах	Гнилостный	Специфический, посторонний, химический	Специфический, свойственный мясу свинины и говядины с кисловатым оттенком

Внешний вид образцов фаршей мясного рубленого полуфабриката после выработки и на 14 сут хранения представлен на Рисунке 2.

Рисунок 2

Внешний вид образцов рубленого фарша



Примечание. А – после выработки; Б – на 14 сут хранения

Согласно данным Таблицы 2 и Рисунка 2 все образцы фарша с добавлением ЭР на протяжении всего срока хранения сохранили цвет. На 14 сутки все образцы с ЭР приобрели бледно-розовый цвет с равномерным сероватым оттенком. Фарш с синтетическим антиокислителем приобретал специфический легкий оттенок химического запаха.

Результаты сенсорной оценки показали, что при добавлении синтетического антиокислителя в фарш срок годности составил 9–10 сут. Образцы фарша на 11 сут проявляли химический запах. Срок годности контроля составляет менее 7 сут, при этом контрольный образец к 8 суткам хранения приобрел характерные признаки порчи. И только использование ЭР может продлить срок хранения более чем на 11 сут. На 14 сут все образцы фаршей характеризовались признаками порчи.

## Результаты физико-химических пищевых систем

Результаты исследований физико-химических показателей (рН) фаршей из свинины и говядины с добавлением синтетического и натурального антиокислителей представлены в Таблице 3.

Таблица 3

Результаты исследований физико-химических показателей (рН) фаршей из свинины и говядины с добавлением синтетического и натурального антиокислителей

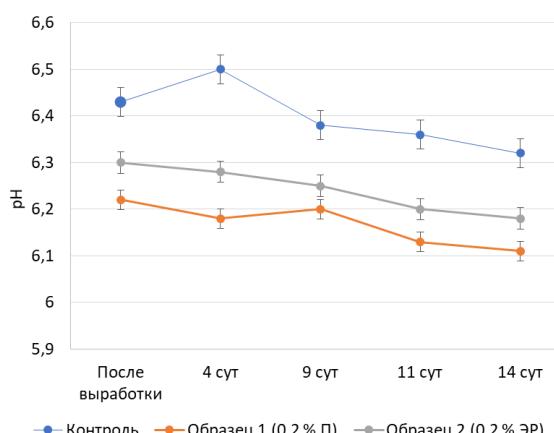
Образцы фарша	рН
	После выработки
Контроль	6,40 ± 0,01
Образец 1 (0,2 % ИН)	6,11 ± 0,01
Образец 2 (0,2 % ЭР)	6,22 ± 0,01
4 сут	
Контроль	6,40 ± 0,02
Образец 1 (0,2 % ИН)	6,22 ± 0,02
Образец 2 (0,2 % ЭР)	6,21 ± 0,01
9 сут	
Контроль	6,66 ± 0,01
Образец 1 (0,2 % ИН)	6,18 ± 0,02
Образец 2 (0,2 % ЭР)	6,24 ± 0,01
11 сут	
Контроль	6,33 ± 0,01
Образец 1 (0,2 % ИН)	6,17 ± 0,01
Образец 2 (0,2 % ЭР)	6,16 ± 0,02
14 сут	
Контроль	6,37 ± 0,02
Образец 1 (0,2 % ИН)	6,17 ± 0,01
Образец 2 (0,2 % ЭР)	6,20 ± 0,03

Фоновые значения рН в исследуемых образцах фарша были на уровне нормального (NOR) мяса, которое характеризуется нормальным развитием автолиза, натуральным розоватым цветом. В ходе хранения происходит постепенное снижение рН.

Динамика изменения рН рубленого фарша из свинины и говядины с добавлением синтетического и натурального антиокислителей представлена на Рисунке 3.

Рисунок 3

Динамика изменения рН рубленого фарша из свинины и говядины с добавлением синтетического и натурального антиокислителя



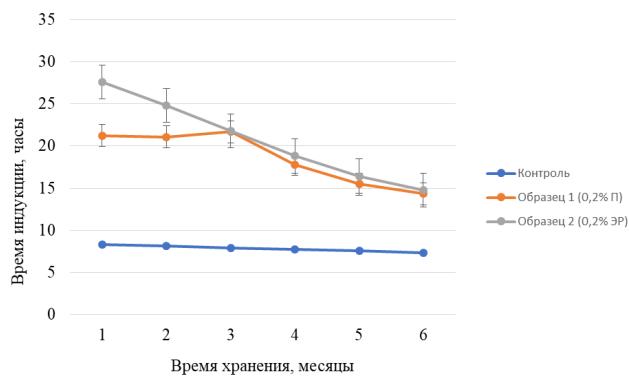
При сравнении образцов фаршей с внесенными антиокислителями определено наиболее благоприятное влияние этого экстракта розмарина на развитие биохимических процессов мясного сырья.

## Изучение стабильности мясной системы в процессе хранения

Для определения окислительной стабильности фарша в процессе хранения образцы фарша были заморожены и хранились в морозильной камере в течение шести мес. В течение данного периода определяли скорость прогоркания на приборе Rancimat на основании оценки времени индукции – стандартного параметра проверки качества масел и жиров в пищевой промышленности, для этого измеряется время, которое требуется мясному фаршу для образования вторичных продуктов окисления (Рисунок 4).

**Рисунок 4**

Определение окислительной стабильности фарша из свинины и говядины с добавлением искусственного и натурального антиокислителей



Согласно диаграмме, ЭР демонстрирует значительную антиоксидантную эффективность. К 6-му мес хранения образец с добавлением ЭР имел наибольшую устойчивость к окислению, по сравнению с контрольным образцом, а по сравнению с образцом с синтетическим антиокислителем имел незначительное превосходство.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Окисление липидов уменьшает пищевую и биологическую ценность мясных продуктов, главным образом изменения химический состав жиров (высвобождение жирных кислот, образование перекисей и вторичных продуктов окисления) и снижая уровня жирораство-

римых витаминов (А, Д, Е, биотин, каротиноиды). Карбонильные соединения, спирты и другие побочные продукты окисления также приводят к появлению нежелательных привкусов и запахов, что отрицательно сказывается на качестве готового продукта и сокращает его срок годности (Bolumar, 2016).

Постепенное ухудшение органолептических характеристик мясных продуктов наблюдается не только при длительном хранении. Прогорклый или осаленный привкус может проявляться в термически обработанных изделиях даже при краткосрочном хранении в холодильнике. Процесс окисления жиров ускоряется при повышенной температуре, свободном доступе кислорода, воздействии прямого солнечного света, наличии ионов металлов с переменной валентностью, а также липолитических ферментов, таких как липаза и фосфолипаза (Bolumar, 2016)). Следовательно, для предотвращения окислительной порчи необходимо минимизировать воздействие всех перечисленных факторов, однако полного их исключения обычно оказывается недостаточно, и к тому же невозможno.

Исследования показывают, что использование антиокислителей позволяет успешно контролировать окисление жиров в мясных продуктах. Антиокислители не только защищают жировой компонент пищи, но и ингибируют воздействие свободных радикалов на организм человека (Song, 2020; Bolumar, 2016). Добавление антиокислителей в мясные продукты на этапе производства защищает не только жиры, но и миоглобин, стабилизируя таким образом цветовые характеристики продуктов.

Фенольные соединения розмарина обладают способностью отдавать водород, удалять свободные радикалы и разрывать радикальные цепные реакции (Song, 2020). Исследователями были выделены олеосмолы, представляющие собой вязкую жидкость, экстрагированную из специй, которая содержит не только эфирное масло, но и некоторые нелетучие компоненты, такие как пигменты, жирные масла и фенольные антиоксиданты (Song, 2020). Однако полученный антиоксидант сложен в выделении и применении.

Bolumar (2016) для сохранения качества мясных полуфабрикатов использовал упаковку с экстрактом розмарина под высоким давлением. Было обнаружено, что лучшим методом ограничения окисления липидов является упаковка с активным

розмарином, но данный способ подразумевает дополнительные затраты на способ внесения полученного экстракта. Российские ученые Шарыгина и Байдалинова (2011) обосновали возможность применение различных экстрактов розмарина в замороженных мясных полуфабрикатах и сравнили нескольких видов коммерческих экстрактов розмарина. Результаты настоящего исследования не противоречат представленным исследованием, проводились в сравнении с искусственным антиоксидантом и подтверждают эффективность и обоснованность внесения натурального экстракта розмарина в мясные системы, предназначенные для длительного хранения, поскольку в существующих реалиях потребителю интересен тренд на ЗОЖ без использования продуктов с пищевыми добавками, имеющими Е-код.

Вероятно, уменьшение числа пищевых добавок с Е-кодами при маркировке пищевых продуктов позволит спрогнозировать повышение спроса на данную ассортиментную линейку. Подтверждение данной гипотезы требует проведения маркетинговых исследований для доказательной базы и формирования конкретных выводов о целевой аудитории. Данный аспект представляет интерес как с научной, так и производственной точки зрения, что позволяет сделать вывод о необходимости пролонгации исследований в данном направлении.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Квалиметрическая оценка антиоксидантной активности пищевых антиокислителей (экстракт розмарина, изоаскорбат натрия) в мясных системах в течение 14 суток хранения позволила сделать вывод, что экстракт розмарина способен ингибировать окисление липидов и белков и, таким образом, продлевать срок годности рубленого фарша из свинины и говядины. Концентрация экстракта розмарина в количестве 0,2% снижала скорость окисления липидов в липопротеиновых комплексах

мясного сырья. Кроме того, сравнительная органолептическая, физико-химическая оценка фаршей, выработанных с использованием экстракта розмарина, синтетического антиокислителя и без их использования (контроль) показала, что внесение экстракта розмарина и синтетического антиокислителя позволяло исследуемым образцам дольше соответствовать требованиям ТР ТС 021/2013 «О безопасности пищевой продукции» и ТР ТС 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции». Контрольный образец характеризовался изменением цвета и аромата, начиная с 8 суток хранения. Однако применение натурального растительного экстракта позволяет получить продукт с «чистой» этикеткой, привлекая больший интерес и вызывая высокий потребительский спрос. Таким образом, экстракт розмарина может быть рекомендован для использования в технологии колбасных изделий и мясных рубленых полуфабрикатов, поскольку является натуральной и равноценной альтернативой синтетическим антиокислителям. В этой связи целесообразно проведение дальнейших исследований по сравнительной оценке свойств экстракта розмарина и других синтетических антиокислителей для разработки рекомендаций производителям пищевых продуктов.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Кидяев Сергей Николаевич:** концептуализация; разработка методологии исследования; создание рукописи.

**Литвинова Елена Викторовна:** верификация данных; редактирование рукописи.

**Кашеварова Ирина Алексеевна:** визуализация; проведение исследования.

**Данильчук Татьяна Николаевна:** администрирование данных.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Васюкова, А. Т., Эдварс, Р. А., & Васюков, М. В. (2021). Влияние состава сырья на качество мясоовощных полуфабрикатов для детей. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 83(4), 148–153. <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-4-148-153>
- Vasyukova, A. T., Edwards, R. A., & Vasyukov, M. V. (2021). The influence of the composition of raw materials on the quality of meat and vegetable semi-finished products for children. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(4), 148–153. (In Russ.) <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-4-148-153>
- Донская, Л. А., Волков, А. Ю., Коткова, В. В., Лейберова, Н. В., & Тохириён, Б. Т. (2021). Профиль жирных кислот куриного фарша механической обвалки, обработанного высоким гидростатическим давлением. *Индустрия питания*, 6(4), 64–75. <http://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-4-7>
- Donskova, L. A., Volkov, A. Yu., Kotkova, V. V., Leiberova, N. V., & Tokhiriyon, B. T. (2021). Fatty acid profile of mechanically deboned chicken mince treated with high hydrostatic pressure. *Food Industry*, 6(4), 64–75. (In Russ.) <http://doi.org/10.29141/2500-1922-2021-6-4-7>
- Коликова, Е. Г., & Шибкова, Д. З. (2022). Инструментарий и диагностика оценки культуры питания подростков как базового компонента образа жизни. *Проблемы современного образования*, 2, 171–182. <http://doi.org/10.31862/2218-8711-2022-2-171-182>
- Kolikova, E. G., & Shibkova, D. Z. (2022). Toolkit and diagnostic assessment of adolescent nutrition culture as a basic component of their lifestyle. *Problems of Modern Education*, 2, 171–182. (In Russ.) <http://doi.org/10.31862/2218-8711-2022-2-171-182>
- Маюрникова, Л. А., Бычкова, Е. С., Ломовский, И. О., Белякова, Д. А., & Бычков, А. Л. (2021). Методология разработки продуктов питания с высокой антиоксидантной активностью. *Ползуновский вестник*, 4, 90–96. <http://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.012>
- Mayurnikova, L. A., Bychkova, E. S., Lomovsky, I. O., Belyakova, D. A., & Bychkov, A. L. (2021). Methodology for the development of food products with high antioxidant activity. *Polzunovskiy Vestnik*, 4, 90–96. (In Russ.) <http://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.04.012>
- Мелехина, М. Д., & Степаненко, Е. И. (2021). Влияние растительных пищевых компонентов на сохранение качества солёной рыбы. *Вестник молодежной науки*, 2(29), 8. [https://doi.org/10.46845/2541-8254-2021-2\(29\)-8-8](https://doi.org/10.46845/2541-8254-2021-2(29)-8-8)
- Melekhina, M. D., & Stepanenko, E. I. (2021). The influence of plant food components on the preservation of salted fish quality. *Bulletin of Youth Science*, 2(29), 8. (In Russ.) [https://doi.org/10.46845/2541-8254-2021-2\(29\)-8-8](https://doi.org/10.46845/2541-8254-2021-2(29)-8-8)
- Патракова, И. С., Гуринович, Г. В., & Мышалова, О. М. (2021). Окислительно-восстановительный потенциал как показатель стабильности мясных систем. *Ползуновский вестник*, 1, 66–73. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009>
- Patrakova, I. S., Gurinovich, G. V., & Myshalova, O. M. (2021). Oxidation-reduction potential as an indicator of the stability of meat systems. *Polzunovskiy Vestnik*, 1, 66–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.009>
- Ромашенко, А. С., & Савельева, О. В. (2019). Негативные последствия быстрого темпа жизни для здоровья человека. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, 5–2, 27–29. <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-10906>
- Romashenko, A. S., & Saveleva, O. V. (2019). Negative consequences of a fast-paced life for human health. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, 5–2, 27–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-10906>
- Хуссайне, Р., & Сучкова, Е. П. (2022). Исследование антиоксидантной активности экстрактов ароматических растений, полученных с применением ферментативной ультразвуковой экстракции. *Международный научно-исследовательский журнал*, 8(122), 87–89. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.65>
- Hussaine, R., & Suchkova, E. P. (2022). Study of the antioxidant activity of aromatic plant extracts obtained with enzymatic ultrasound extraction. *International Research Journal*, 8(122), 87–89. (In Russ.) <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.122.65>
- Шарыгина, Я. И., & Байдалинова, Л. С. (2011). Использование экстрактов розмарина как антиоксидантов в технологии мясных замороженных полуфабрикатов. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 320–321(2–3), 35–37.
- Sharygina, Ya. I., & Baidalinova, L. S. (2011). Use of rosemary extracts as antioxidants in technology of frozen meat semi-finished products. *Proceedings of Higher Educational Institutions. Food Technology*, 320–321(2–3), 35–37. (In Russ.)
- Якимова, Е. А. (2023). Продукты здорового питания: конкуренция производителей на российском рынке. *Научные исследования экономического факультета*, 15(1), 71–108. <https://doi.org/10.38050/2078-3809-2023-15-1-71-108>
- Yakimova, E. A. (2023). Healthy food products: Competition among manufacturers in the Russian market. *Scientific Research of the Faculty of Economics*, 15(1), 71–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.38050/2078-3809-2023-15-1-71-108>
- Aala, J., Ahmadi, M., & Golestan, L. (2023). Effect of multifactorial free and liposome-coated of bay laurel (*Laurus nobilis*) and rosemary (*Salvia rosmarinus*) extracts on the behavior of *Listeria monocytogenes* and *Vibrio parahaemolyticus* in silver carp (*Hypophthalmichthys molitrix*) stored at 4 °C. *Environmental Research*, 216–2, 114478. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114478>
- Ahmadi, A., Shahidi, S-A., & Safari, R. (2022). Evaluation of stability and antibacterial properties of extracted chlorophyll from alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Food and*

- Chemical Toxicology*, 163, 112980. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2022.112980>
- Ansarian, E., & Aminzare, M. (2022). Nanoemulsion-based basil seed gum edible film containing resveratrol and clove essential oil: In vitro antioxidant properties and its effect on oxidative stability and sensory characteristic of camel meat during refrigeration storage. *Meat Science*, 185, 108716. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108716>
- Banares, C., Chabni, A., & Reglero, G. (2022). Oxidative stability of microalgae oil and its acylglycerol mixture obtained by enzymatic glycerolysis and the antioxidant effect of supercritical rosemary extract. *LWT*, 171, 114150. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114150>
- Bolumar, T., LaPeña, D., & Skibsted, L. H. (2016). Rosemary and oxygen scavenger in active packaging for prevention of high-pressure induced lipid oxidation in pork patties. *Food Packaging and Shelf Life*, 7, 26–33. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2016.01.002>
- Du, Q., Tu, M., & Pan, D. (2023). Plant-based meat analogs and fat substitutes, structuring technology and protein digestion: A review. *Food Research International*, 170, 112959. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.112959>
- Hadidi, M., Orellana-Palacios, J. C., & Aghababaei, F. (2022). Plant by-product antioxidants: Control of protein-lipid oxidation in meat and meat products. *LWT*, 169, 114003. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114003>
- Hu, Y., Wang, Y., & Pan, D. (2022). Individual effects of rosemary extract and green tea polyphenols on the physicochemical properties of soybean oil–myosin emulsion with l-arginine or l-lysine. *Food Chemistry*, 395, 133582. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133582>
- Hoffman, D. J., & Posluszný, H. (2023). Nutrition transition, diet change, and its implications. *Encyclopedia of Human Nutrition*, 4, 435–443. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821848-8.00153-0>
- Hygreeva, D., Pandey, M. C., & Radhakrishna, K. (2014). Potential applications of plant based derivatives as fat replacers, antioxidants and antimicrobials in fresh and processed meat products. *Meat Science*, 98, 47–57. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.04.006>
- Kaur, R., Gupta, T. B., & Bronlund, J. (2023). The potential of rosemary as a functional ingredient for meat products—a review. *Food Reviews International*, 39(4), 2212–2232. <https://doi.org/10.1080/87559129.2021.1950173>
- Łepecka, A., Szymański, P., Okoń, A., & Zielińska, D. (2023). Antioxidant activity of environmental lactic acid bacteria strains isolated from organic raw fermented meat products, *LWT*, 174, 114440. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114440>
- Savani, P., Puthiyedath, A., & Chandran, R. K. (2023). Evaluation of the sensory properties and antioxidant activity of clean rosemary extracts for an effective replacement of EDTA in Mayonnaise. *Applied Food Research*, 3, 100302. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100302>
- Serdaroglu, M., Can, H., & Sari, B. (2023). Effects of natural nitrite sources from arugula and barberry extract on quality characteristic of heat-treated fermented sausages. *Meat Science*, 198, 109090. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.109090>
- Smaoui, S., & Tavares, L. (2022). Application of eco-friendly active films and coatings based on natural antioxidant in meat products: A review. *Progress in Organic Coatings*, 166, 106780. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2022.106780>
- Song, X-C., Canellas, E., Wrona, M., & Becerril, R. (2020). Comparison of two antioxidant packaging based on rosemary oleoresin and green tea extract coated on polyethylene terephthalate for extending the shelf life of minced pork meat. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100588. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100588>
- Tamkuté, L., & Jančiuké, G. (2022). Cranberry and black chokeberry extracts isolated with pressurized ethanol from defatted by supercritical CO<sub>2</sub> pomace inhibit colorectal carcinoma cells and increase global antioxidant response of meat products during in vitro digestion. *Food Research International*, 161, 111803. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111803>
- Wang, Y., Zhou, X., Liu, M., Zang, H., Zhang, R., Yang, H., Jin, S., Qi, X., Shan, A., & Feng, X. (2023). Quality of chicken breast meat improved by dietary pterostilbene referring to up-regulated antioxidant capacity and enhanced protein structure. *Food Chemistry*, 405, Part A, 134848. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134848>
- Yadollahi, F., Soltani, M., & Modarresi, M. H. (2023). Efficacy of vitamin E with or without probiotic, astaxanthin or rosemary extract on microbiological and chemical characteristics of fresh and frozen fillet of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Reports*, 28, 101426. <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2022.101426>
- Zhang, D., & Ivane, N. M. (2022). Recent trends in the micro-encapsulation of plant-derived compounds and their specific application in meat as antioxidants and antimicrobials. *Meat Science*, 191, 108842. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108842>

# Интенсификация вакуум-сублимационной сушки плодов калины за счет предварительной обработки низкотемпературной плазмой

Кубанский государственный технологический университет,  
г. Краснодар, Российская Федерация

О. И. Андреева, И. А. Шорсткий

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**

Оксана Ивановна Андреева

E-mail: oksana\_andreeva2001@mail.ru

**ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:**

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**

Андреева, О. И., & Шорсткий, И. А. (2024). Интенсификация вакуум-сублимационной сушки плодов калины за счет предварительной обработки низкотемпературной плазмой. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(2), 89–98.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.560>

**ПОСТУПИЛА:** 03.10.2023

**ДОРаБОТАНА:** 27.05.2024

**ПРИНЯТА:** 15.06.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.06.2024

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:**

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Длительность классической вакуум-сублимационной сушки при переработке цельных ягод дикоросов может достигать более 120 часов, что напрямую влияет на доступность конечного продукта для потребителей. В связи с этим поиск решений снижения длительности процесса вакуум-сублимационной сушки с сохранением высокого качества получаемого продукта является актуальной производственной задачей.

**Цель:** Интенсификация вакуум-сублимационной сушки плодов калины за счет формирования дополнительных каналов на поверхности оболочки с применением предварительной обработки низкотемпературной плазмой, для уменьшения общей длительности сушки данного вида сырья.

**Материалы и методы:** В качестве вариации обработки низкотемпературной плазмой были выбраны режим слаботочного искрового и дугового разряда при поддержке термоэлектронной эмиссии. Обезвоженные с помощью вакуум-сублимационной сушки плоды калины анализировали на предмет микроструктурных изменений, кинетики сушки и показателей качества. Обработку низкотемпературной плазмой проводили на установке в режиме напряженности поля 8 кВ/см и 6 кВ/см и величиной тока разряда 1 мА и 10 мА, для искрового и дугового режима соответственно.

**Результаты:** Предварительная обработка низкотемпературной плазмой в режиме дугового разряда значительно интенсифицирует процесс вакуум-сублимационной сушки плодов за счет формируемых каналов на поверхности покровной оболочки. Предварительная обработка низкотемпературной плазмой позволила увеличить скорость сушки в три раза и снизить общую длительность процесса. Показатели качества обезвоженных плодов калины с предварительной обработкой низкотемпературной плазмой сохранились на высоком уровне.

**Выводы:** Доказана целесообразность применения обработки низкотемпературной плазмы на этапе подготовки плодово-ягодного сырья к процессам вакуум-сублимационной сушки. Подобранный режим слаботочного разряда позволяет уменьшить общие материальные и энергетические затраты. Данная работа вносит вклад в развитие электрофизических методов для интенсификации сложных процессов тепломассопереноса.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

переработка дикоросов; консервирование пищевых продуктов; обработка низкотемпературной плазмой; вакуумная сублимационная сушка; плод калины

# The Intensification of Vacuum Freeze Drying of Viburnum Fruits Utilizing Low-Temperature Plasma Pre-Treatment

Kuban State Technological University,  
Krasnodar, Russian Federation

**CORRESPONDENCE:**

Oksana I. Andreeva

E-mail: oksana\_andreeva2001@mail.ru

**DATA AVAILABILITY:**

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

**FOR CITATIONS:**

Andreeva, O.I., & Shorstky, I.A. (2024). The intensification of vacuum freeze drying of viburnum fruits utilizing low-temperature plasma pre-treatment. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 89–98.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.560>

**RECEIVED:** 03.10.2023

**REVISED:** 27.05.2024

**ACCEPTED:** 15.06.2024

**PUBLISHED:** 30.06.2024

**DECLARATION OF COMPETING**

**INTEREST:** none declared.



Oksana I. Andreeva, Ivan A. Shorstky

## ABSTRACT

**Introduction:** The duration of classical vacuum freeze drying during the processing of whole wild berries can reach more than 120 hours directly affecting the availability of the final product to consumers. In this regard, the search for solutions to reduce the duration of the vacuum freeze drying process while maintaining the high quality of the resulting product is an urgent production task.

**Purpose:** Intensification of vacuum freeze drying of viburnum fruits due to the formation of additional channels on the surface shell using pre-treatment with low-temperature plasma to reduce the total drying time of this type of raw material.

**Materials and Methods:** Low-current spark and arc discharge modes supported by thermionic emission were chosen as a variation of low-temperature plasma treatment. Viburnum fruits dehydrated by vacuum freeze drying were analyzed for microstructural changes, drying kinetics and quality indicators. Low-temperature plasma treatment was carried out on the installation in the field strength mode of 8 kV/cm and 6 kV/cm and the discharge current values of 1 mA and 10 mA for spark and arc modes, respectively.

**Results:** It is shown that pre-treatment with low-temperature plasma in the arc discharge mode significantly intensifies the process of vacuum freeze drying of fruits due to the channels formed on the surface of the integument. Pre-treatment with low-temperature plasma made it possible to increase the drying speed by three times and reduce the overall duration of the process. The quality indicators of dehydrated viburnum fruits with pre-treatment with low-temperature plasma remained at a high level.

**Conclusion:** Current study demonstrates the efficiency of using low-temperature plasma treatment at the stage of preparing fruit and berry raw materials for vacuum freeze drying processes. The selected low-current discharge mode allows to reduce the total material and energy costs. This work contributes to the development of electrophysical methods for the intensification of complex heat and mass transfer processes.

## KEYWORDS

wild-crops processing; food products preservation; low-temperature plasma treatment; vacuum freeze-drying; viburnum fruits

## ВВЕДЕНИЕ

Повышение производительности вакуумно-сублимационной сушки, уменьшение общих материальных и энергетических затрат на процесс, сохранение товарного вида продукта являются актуальными производственными задачами для производителей сублимированной продукции. В фокусе внимания рынка FoodNet<sup>1</sup> находятся дикоросы — источники широкого спектра микро и макронутриентов (Сычева et al., 2019). Среди последних в промышленной переработке широкое распространение получили плоды калины, земляники, клюквы (Rudy et al., 2015; Alifakı et al., 2022; Shishehgarha et al., 2002).

В ягодах калины сосредоточен уникальный комплекс различных витаминов, эфирных масел, аминокислот, фитонцидов, дубильных и пектиновых веществ (Alifakı et al., 2022; Тихонов, Типсина, 2017). Также калина содержит большое количество важных антиоксидантов (антоцианы, флавоноиды и др.). Общее количество антоцианов в плодах свежей калины насчитывается свыше 3 г/100 г сухих веществ (Шестопалова & Уварова, 2012). Столь высокое содержание антоцианов делает калину перспективным объектом исследований и переработки. Однако широкой промышленной переработке калины препятствует наличие прочной восковой оболочки, что увеличивает длительность вакуум-сублимационной сушки до 70–80 часов (Kajszczak et al., 2020). Следовательно, необходимо правильно подготовить структуру плодов калины к последующей сушке, при этом решение должно удовлетворять показателям качества получаемой продукции и быть эффективным.

Одним из перспективных направлений решения задачи ускорения сушки плодов калины является правильная подготовка к процессам сушки не нарушающая целостности самих ягод (Krzykowski et al., 2018). На момент проведения исследования известны различные технологии предварительной обработки перед сублимацией: химические (использование гипертонического раствора (Roueita et al., 2020; Lewicki et al., 2002) механи-

ческие (сжатие, сплющивание) (Rittiphet et al., 2021), физические (ультразвуковое воздействие, СВЧ-обработка, применение импульсного электрического поля, обработка низкотемпературной плазмой) (Warne et al., 2023; Liu et al., 2021; Loureiro et al., 2021; Shishir et al., 2020; Zhang et al., 2019); Li, Zhou, & Lu, 2023; Ashtiani et al., 2020; Wu et al., 2020; Islam et al., 2015; Ren & Bai, 2018; Duan et al., 2010; Falacińska et al., 2021; Раіка D et al., 2022; Ricce et al., 2016; Fauster et al., 2020; Lammerskitten et al., 2019). Различные методы предварительной обработки используются не только для ускорения процесса сушки, но и для сохранения физических свойств и биологически активных соединений в лиофилизованных пищевых продуктах (Dziki, 2020).

Перспективным и активно развивающимся методом интенсификации выхода влаги из плодов калины на этапе сублимационной сушки среди прочих является применение предварительной обработки сырья низкотемпературной плазмой (НП). Данный вид предварительной обработки растительного сырья сырья зарекомендовал себя как эффективный при подготовке сырья к тепловой сушке (Giancaterino et al., 2024). Обработка НП позволяет сократить длительность сублимационной сушки, уменьшить энергетические и материальные затраты технологии. Авторами (Ashtiani et al., 2020) получены данные эффективного применения низкотемпературной плазмы для сушки грибов и снижение общей длительности процесса на 37 %. При этом показатели качества в том числе содержание антиоксидантов, полифенолов и витамина были на 36 %, 45 % и 124 % выше чем в контрольном. Эффект применения НП для сушки плодов томата позволил снизить общую длительность сушки на 25 % (Obajemihi et al., 2024).

Цель текущего исследования — интенсификация вакуум-сублимационной сушки плодов калины за счет формирования дополнительных каналов на поверхности оболочки с применением предварительной обработки низкотемпературной плазмой, для уменьшения общей длительности сушки данного вида сырья.

<sup>1</sup> Крупнейший рынок потребительской продукции в мире, открытый для интеграции новых научноемких технологий, от роботизации и ИТ в сегментах Агротех и Фудтех до биотехнологий, стимулирующий рост экономики и способный радикально повысить доступность и качество питания.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

Объект исследования — свежая ягода калины, 2023 года урожая, приобретенная на местном рынке в городе Краснодар. Исходная влажность ягоды составляла  $85 \pm 0,2\%$ . Определение влажности исходной ягоды происходило на анализаторе влажности ЭВЛАС-2М (Россия). Температура внутри камеры анализатора влажности составляла 130 °C, при пороге 0,03%.

### Методы, оборудование и процедура исследования

Обработка низкотемпературной плазмой атмосферного давления проводилась на установке АС-П800 (Техника плазмы, Россия) в режиме слаботочного разряда при поддержке термоэлектронной эмиссии. В качестве вариации рассмотрены режимы искрового разряда (опыт А) при напряжённости поля 8 кВ/см и током разряда 1 мА, дугового разряда (опыт Б) при напряженности поля 6 кВ/см и токе разряда 10 мА и образцы без обработки (опыт В). Процесс обработки проводился при условиях атмосферного давления и температуре окружающей среды 23 °C. Ягоды были уложены в один слой общей площадью 0,06 м<sup>2</sup>. Длительность обработки на вески 100 граммов проводилась в течении 1 минуты методом сканирования со скоростью движения катода 0,1 м/с. Детальное описание установки представлено в Соснин & Шорсткий (2023).

Рисунок 1

Процесс обработки НП плодов калины в режиме искрового разряда по опыту А



Процесс обработки НП на установке (Рисунок 1) представляет собой непосредственное воздействие струи низкотемпературной плазмы, состоящей из катионов, анионов, свободных и возбужденных электронов и ряда летучих атомов и молекул на структуру материала плодов калины.

Обработка НП относится к нетепловому методу воздействия на сырье. Струя плазмы прикасающим образом действует на плоды калины, формируя сквозные микроканалы на поверхности оболочки. При указанных режимах обработки температура продукта менялась на величину не более 3 °C.

Исследование поверхностной микроструктуры обработанной ягоды проводилось на поляризационном микроскопе МИН-8 (Россия). Объект исследования фиксировался на предметном столе. Изображение поверхности ягоды (покровной оболочки) получали с использованием электронной камеры.

Вакуум-сублимационную сушку проводили в сушилке LAB 3 (СХ-техника, Россия) при температуре полок 45 °C и давлении в камере 100 Па. Температура десублиматора составляла минус 33 °C. В сушилке происходит основной процесс — переход вещества из твердого состояния в газообразное, минуя жидкую fazу. Сравнение образцов обработанной НП и необработанной проводилось при одинаковых условиях. Непосредственно после обработки НП образцы направлялись на стадию заморозки. Заморозка ягоды калины проводилась непосредственно в вакуумной сублимационной сушилке при температуре минус 45 °C в течение 4 ч. Известно, что шоковая заморозка положительно влияет на качество продукта. В процессе заморозки в продукте образуются мелкие кристаллы льда, что в незначительной степени влияет на структуру внутри продукта, сохраняет целостность (Гусейнова et al., 2021).

### Анализ данных

Исследование скорости и кинетики сушки плодов калины проводилось при различных промежутках времени в различных опытах (6, 12, 24; 48; 72 ч) до достижения требуемой влажности 5%.

Величину скорости сушки определяли по уравнению

$$\text{Скорость\_сушки} = \frac{M_{i+\Delta i} - M_i}{\Delta i},$$

где  $M_i + \Delta i$  и  $M_i$  — масса в любой момент времени  $i$  и  $\Delta i$ , кг/кг.

Проанализирована логарифмическая модель сушки, как наиболее подходящая для сушки с периодом падающей скорости сушки (Grimi N. et al., 2010):

$$E = a \cdot \exp(-k \cdot \tau) + b,$$

Был проведен регрессионный анализ. Исследованы значения R<sup>2</sup>, RMSE (средняя квадратичная ошибка) и CRV (коэффициент остаточной вариации).

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (E_{i,p} - E_p)^2}{\sum_{i=1}^N (E_{i,e} - E_p)^2},$$
$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_{i,p} - E_{i,e})^2}{N}},$$
$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (E_{i,p} - E_{i,e})^2}{N - o},$$
$$CRV = 100 \cdot \frac{\sqrt{\chi^2}}{Y},$$

В данных уравнениях  $E_{i,p}$  — безразмерный показатель влажности;  $E_{i,e}$  — экспериментальное безразмерное значение влажности;  $E_p$  — средняя безразмерная влажность;  $N$  — количество замеров;  $o$  — число констант в уравнении;  $Y$  — среднее значение  $E$ .

Полученные данные представлены в Таблице 1.

После сублимационной сушки проводили анализ содержания антоцианов в обезвоженных плодах калины спектрофотометрическим методом. Извлечение антоцианов осуществляли в соответствии с методикой (Курдюков соавт., 2021). Использовали водный раствор с этиловым спиртом (40%) с последующим нагреванием в водяной бане в течение 60 мин. Измерение оптической плотности осуществляли на спектрофотометре ПЭ-5300ВИ (Россия). Содержание суммы антоцианов в пересчете на цианидин-3-О-гликозид и абсолютно сухое сырье в процентах (Х) вычисляли по формуле:

$$X = \frac{D \cdot 50 \cdot 25 \cdot 100}{250 \cdot m \cdot 4(100 - W)},$$

где  $D$  — оптическая плотность раствора;

250 — удельный показатель поглощения цианидина-3-О-гликозида при длине волны 625 нм, безразмерная величина;

$m$  — навеска сырья, г;

$W$  — влажность сырья, %.

100 — вместимость колбы с 0,5 г измельченного материала и 50 мл 40%-этанолового спирта (раствор экстракта), мл;

50 — объем 40%-этанолового спирта, мл;

25 — вместимость колбы с 4 мл раствора экстракта, доведенного до метки растворителем, мл.

4 — объем раствора экстракта, мл.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью метода математической статистики. Все эксперименты проводили с трехкратной повторностью. Статистический анализ проводился с помощью программ STATISTICA 13 (Statsoft, США) и Excel (Microsoft, США).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

### Анализ микроструктуры оболочки

В процессе анализа микроструктуры покровной оболочки плодов калины после обработки низкотемпературной плазмой было обнаружено, что на поверхности ягод возникают дополнительные каналы.

На Рисунке 2 продемонстрирована поверхность ягоды калины до и после обработки НП в режимах искрового и дугового разряда. При обработке в режиме дугового разряда (опыт Б) на поверхности покровной оболочки калины в результате воздействия низкотемпературной плазмы сформировались кратеры со средним диаметром 25–65 мкм. Данный размер пор соответствует молекулярно-вязкостному режиму течения сублимационной сушки. При обработке низкотемпературной плазмой в режиме искрового разряда диаметр формируемых отверстий был меньше и плотность их формирования также меньше (Рисунок 2). Сопоставимые данные по размеру формируемых отверстий получены Miraei Ashtiani et al. (2020) при обработке ягод винограда скользящим искровым разрядом и Teng et al. (2020) CO<sub>2</sub> лазером при обработке плодов голубики. При обработке скользящим разрядом установлены отверстия диаметром 80–100 мкм, а при обработке лазером

до 150 мкм. При этом стоит отметить, что в отличие от работы Teng et al. (2020), в котором на единичной ягоде формировалось одно отверстие, нами получена более высокая плотность микропор.

Сформированные в результате обработки низкотемпературной плазмой микропоры становятся каналами для облегченного выхода влаги. За счет их наличия ускоряется процесс выхода влаги на стадии сублимации, что в дальнейшем влечет за собой уменьшение общей длительности процесса. Как отмечено авторами (Sette et al., 2016) для предотвращения всputчивания ягод (изменение геометрического размера при усушке), диаметр микропор должен находиться в диапазоне 25–30 мкм. Значительное изменение величины канала вывода пара (более 150 мкм) при сублимации приводит к изменению режима течения влаги из материала и как следствие потери БАВ (Sosnin & Shorstki, 2020). Таким образом наличие новых каналов удаления влаги способствует формированию более развитой поверхности раздела фаз «лед-газ», что ускоряет процесс вакуум-сублимационной сушки.

## Анализ скорости и кинетики сушки

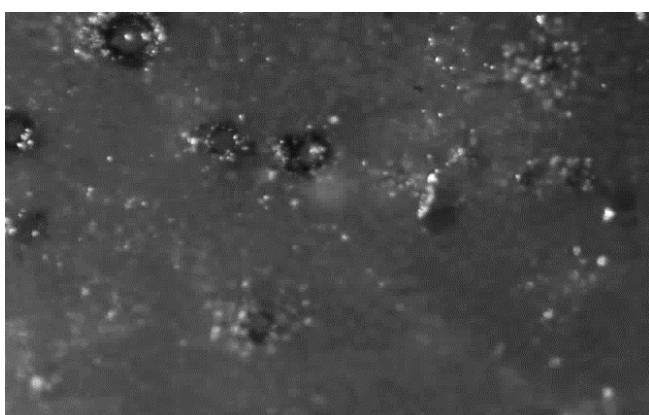
Полученные экспериментальным путем кривые сушки необработанной калины демонстрируют наличие падающего периода скорости осмотического и адсорбционного испарения влаги (Рисунок 3). Данный факт говорит об отсутствии этапа удаления свободной влаги в плодах калины из-за наличия диффузионного барьера в виде покровной

оболочки. При этом на кривой скорости сушки, обработанной НП плодов калины заметен период постоянной сушки в течение первых 10 ч. Данное обстоятельство говорит о переходе влаги связанный в удерживающую в капиллярах или свободную, выделившуюся на поверхности калины до этапа заморозки.

Экспериментально показано, что в результате предварительной обработки низкотемпературной плазмой длительность вакуум-сублимационной сушки плодов калины снизилась до 72 ч (для достижения влажности 5 %). При этом скорость сушки благодаря предварительной обработке НП возросла в три раза по сравнению со контрольным образцом при тех же условиях. Данная тенденция различия в скоростях сушки сохранилась на протяжении всей кривой скорости. Это свидетельствует о том, что сформированный от обработки НП канал сохранил свою геометрию на протяжении всего периода сублимационной сушки. Влияние на морфологию высушиваемых ягод при вакуум-сублимационной сушке отмечено в работах с применением ультразвука (Zhang et al., 2020; Алексеенко et al., 2023). Акустическая волна «выталкивает» влагу на поверхность продукта, что способствует снижению длительности процесса на 15–20 %. Для улучшения качества и внешнего вида черники при сублимации, была исследована предварительная обработка ягод черники CO<sub>2</sub>-лазером Teng et al. (2020), что позволило снизить общую длительность сушки до 25 %. Эффект от предварительной обработки импульсным электрическим полем (Zhang et al., 2023) на процесс вакуум-сублимационной сушки плодово-ягодного сырья демонстрирует положи-

Рисунок 2

Поверхность ягоды калины после обработки НП

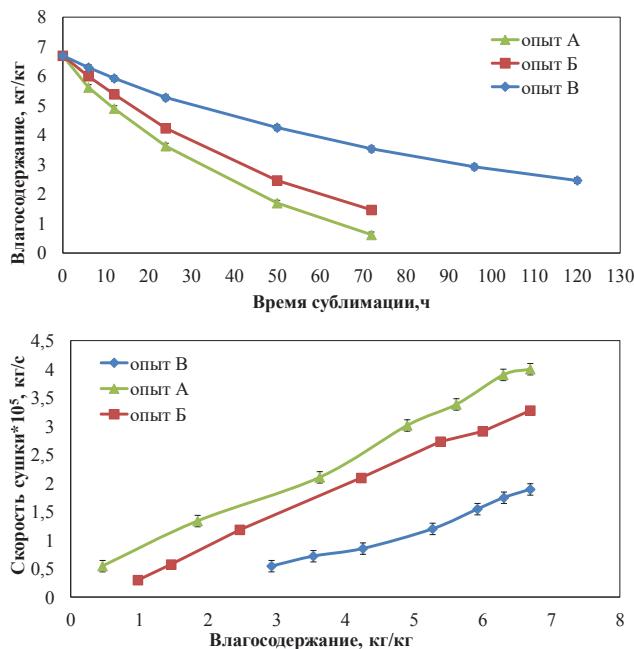


Примечание. Опыт А слева, опыт Б справа

тельные результаты при достижении «электропорации» мембран растительных клеток сырья. Так, в отличие от предлагаемого нами метода при обработке импульсным электрическим полем возможна обработка большего количества материала в жидкой среде, что потенциально влияет на производительность технологической линии. Авторами (Li et al., 2023) показана возможность применения газовой плазмы к процессам сушки плодов жимолости. Результаты показали тенденцию к снижению длительности сушки от возникающих эффектов проправливания поверхностной оболочки материала. Таким образом можно ответить, что доминирующая часть методов направлена на воздействие структуры поверхностной оболочки перерабатываемого материала.

### Рисунок 3

Кривые сушки и скорости плодов калины для опытов А, Б, В



## Математическое моделирование скорости сушки

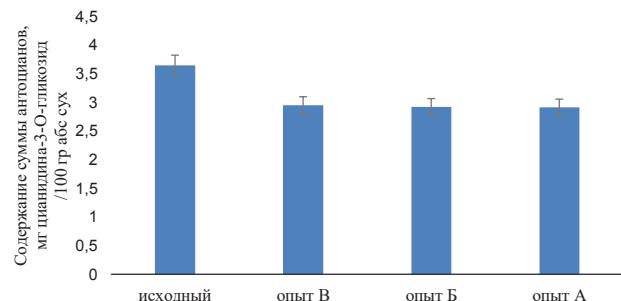
Математическое моделирование показало высокую схожесть логарифмической модели. Статистические данные значений R<sup>2</sup>, RSME и CVR находятся в диапазоне 0,985–0,998, 0,098–0,878 и 0,009–0,656 (Таблица 1). Анализ указанных значений позволил установить, что выбранная модель сходится с экспериментальными данными.

## Анализ содержания антоцианов в исследуемых образцах калины

Анализ содержания антоцианов в обезвоженной калине представлен на рисунке 4. В ходе экспериментов показано, что содержание обработанных НП (опыты А, Б) и необработанных обезвоженных плодов калины (опыт В и исходный материал) содержит порядка 3 мг цианидина-3-О-гликозид /100 г абс. сух. вещества.

### Рисунок 4

Диаграмма содержания суммы антоцианов в исходном, обезвоженном без обработки НП



Примечание. (Исходный, опыт В) и обезвоженном после обработки НП плодов калины (опыты А, Б)

Таблица 1

Статистический анализ математический модели Logarithmic

Опыт	R <sup>2</sup>	RMSE	χ <sup>2</sup>	CRV, %
Опыт А	0,985	0,8784	0,286187	13,87
Опыт Б	0,998	0,6277	0,656743	20,84
Опыт В	0,998	0,0981	0,009624	2,1

Полученные результаты содержания антоцианов в плодах калины совпадают с данными авторов Kajszczak et al. (2020). При этом исходное сырье показало величину порядка 3,7 мг цианидина-3-О-гликазид /100 г абс. сух. вещество. Данный факт подчеркивает высокую степень сохранности антоцианов, а также подчеркивает, что воздействие НП не способствует снижению данного показателя. Значения для исходного образца составляет 3,64 мг, образца не подвергшегося обработке — 2,95 мг, для образца прошедшего обработку дуговым разрядом — 2,91 мг, для образца обработанного искровым разрядом — 2,92 мг.

Ограничения используемого подхода связаны с неравномерностью обработки при работе с крупным ягодами или ягодами, уложенными в несколько слоёв. Поэтому данный метод эффективен при расположении растительного материала на лотке в один слой.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данной работы выявлено, что применение предварительной обработки низкотемпературной плазмой плодов калины позволило кратно интенсифицировать процесс вакуум-сублимационной сушки. За счет формирования развитой поверхности раздела фаз от дополнительных каналов диаметром 25–65 мкм на поверхности восковой оболочки плодов калины удалось снизить общую длительность сушки более чем в 3 раза.

Полученные результаты показывают, что обработка низкотемпературной плазмой в режиме слаботочного дугового разряда демонстрирует большую эффективность, в отличие от коронного разряда, снизив длительность сушки более чем в 3 раза. При этом режим коронного разряда также снизил длительность сушки в 2,5 раза по сравнению с образцами без обработки низкотемпературной плазмой.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алексеенко, Е. В., Каримова, Н. Ю., & Цветкова, А. А. (2023). Способы переработки ягод черники: современное состояние и перспективы развития. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 22-44. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>
- Alekseenko, E. V., Karimova, N. Yu., & Tsvetkova, A. A. (2023). The current state and prospects for the development of

За счет применения нетепловой обработки, к которой относится НП, целостность плодов не нарушается, тем самым сохраняется товарный вид конечного продукта. Анализ содержания антоцианов показал, что предварительная обработка низкотемпературной плазмы позволяет сохранить данный показатель качества на высоком уровне (до 85% от исходного).

Для выявления рациональных режимов обработки низкотемпературной плазмы необходимы дальнейшие исследования по влиянию электрофизических показателей плазмы (частота и длительность разряда, величина тока и напряженности). Необходимо установить лимитирующие параметры толщины насыпного слоя перерабатываемых ягод с последующей технико-экономической и энергетической оценкой обработки низкотемпературной плазмы. Направления дальнейших исследований также будут направлены на изучение воздействия низкотемпературной плазмы на предварительно замороженное сырьё.

Применение предварительной обработки низкотемпературной плазмой в процессах вакуум-сублимационной сушки является перспективным методом снижения длительности процесса с сохранением высокого качества получаемой продукции.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Андреева Оксана Ивановна:** исследование / сбор данных; написание — редактирование и доработка рукописи, администрирование данных.

**Шорсткий Иван Александрович:** концепция / идея; методология; администрирование исследования, написание — редактирование и доработка рукописи.

methods for processing bilberries. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 22-44. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>

Гусейнова, Б. М., Асабутаев, И. Х., & Даудова, Т. И. (2021). Оценка пригодности абрикосов к шоковой заморозке по физико-технологическим показателям качества.

- Вестник Международной академии холода, (1), 74–83.  
<https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-74-83>
- Guseinova, B. M., Asabutayev, I. Kh., & Daudova, T. I. (2021). Assessment of apricots suitability for shock freezing according to physical and technological quality indicators. *Journal of International Academy of Refrigeration*, (1), 74–83. (In Russ.) <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2021-20-1-74-83>
- Курдюков, Е. Е., Митищев, А. В., Водопьянова, О. А., Шелудякова, Ю. Б., & Финаенова, Н. И. (2021). Спектрофотометрическая методика количественного определения суммы антоцианов в сырье эвтерпы овощной (*Euterpe oleracea*). *Вестник Московского университета. Серия 2. Химия*, 62(6), 523–525.
- Kurdyukov, E. E., Mitishev, A. V., Vodopyanova, O. A., Sheludyakova, Yu. B., & Finaenova, N. I. (2021). Method of quantitative determination of the amount of anthocyanins in the raw materials of *Euterpe Oleracea*. *Lomonosov Chemistry Journal*, 62(6), 523–525. (In Russ.)
- Соснин, М. Д., & Шорсткий, И. А. (2023). Сушка яблочных чипсов с применением интеллектуальной обработки низкотемпературной атмосферной плазмой. *Техника и технология пищевых производств*, 53(2), 368–383. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2442>
- Sosnin, M. D., & Shorstky, I. A. (2023). Cold atmospheric gas plasma processing of apple slices. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(2), 368–383. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-2-2442>
- Сычева, О. В., Шлыков, С. Н., & Омаров, Р. С. (2019). Научные принципы создания пищевых продуктов для персонализированного питания в соответствии с концепцией развития перспективного рынка «FoodNet». *Пищевая индустрия*, 1(39), 36–37.
- Sycheva, O. V., Shlykov, S. N., & Omarov, R. S. (2019). Scientific principles for creating food products for personalized nutrition according to the concept of developing the prospective market “FoodNet”. *Food Industry*, 1(39), 36–37. (In Russ.)
- Тихонов, С. Ю., & Типсиная, Н. Н. (2017). Использование сухого сырья калины в кондитерских изделиях с повышенной пищевой ценностью. *Наука и образование: опыт, проблемы, перспективы развития* (с. 95–97). Красноярск: Изд-во Красноярского гос. аграр. ун-та.
- Tikhonov, S. Yu., & Tipsina, N. N. (2017). Use of dry viburnum raw materials in confectionery products with increased nutritional value. *Science and education: Experience, problems, development prospects* (pp. 95–97). Krasnoyarsk: Publishing House of Krasnoyarsk State Agrarian University. (In Russ.)
- Шестopalова, И. А., & Уварова, Н. А. (2012). Влияние экстрактов дикорастущих плодов и ягод на цвет рубленых полуфабрикатов из мяса птицы. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств»*, (1), 53.
- Shestopalova, I. A., & Uvarova, N. A. (2012). Influence of wild fruit and berry extracts on the color of minced poultry semi-finished products. *Scientific journal NRU ITMO. Series Processes and Equipment for Food Production*, (1), 53. (In Russ.)
- Alifaki, Y. Ö., Şakıyan, Ö. & Isci, A. (2022). Investigation of storage stability, baking stability, and characteristics of freeze-dried cranberrybush (*Viburnum opulus L.*) fruit microcapsules. *Food and Bioprocess Technology*, 15(5), 1115–1132. <https://doi.org/10.1007/s11947-022-02805-4>
- Ashtiani, S. H. M., Rafiee, M., Morad, M. M., Khojastehpour, M., Khani, M. R., Rohani, A., & Martynenko, A. (2020). Impact of gliding arc plasma pretreatment on drying efficiency and physicochemical properties of grape. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 63, 102381. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102381>
- Ashtiani, S. H. M., Aghkhani, M. H., Feizy, J. & Martynenko, A. (2023). Effect of cold plasma pretreatment coupled with osmotic dehydration on drying kinetics and quality of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Food and Bioprocess Technology*, 16(12), 2854–2876. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102381>
- Duan, X., Zhang, M., Mujumdar, A. S., & Wang, S. (2010). Microwave freeze drying of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). *Journal of Food Engineering*, 96(4), 491–497. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.08.031>
- Dziki D. (2020). Recent trends in pretreatment of food before freeze-drying. *Processes*, 8(12), 1661. <https://doi.org/10.3390/pr8121661>
- Falacińska, J., Kowalska, H., Kowalska, J., Galus, S., Marzec, A., & Domian, E. (2021). The effect of pre-treatment (Blanching, ultrasound and freezing) on quality of freeze-dried red beets. *Foods*, 10(1), 132. <https://doi.org/10.3390/foods10010132>
- Fauster, T., Giancaterino, M., Pittia, P., & Jaeger, H. (2020). Effect of pulsed electric field pretreatment on shrinkage, rehydration capacity and texture of freeze-dried plant materials. *LWT*, 121(December 2019), 108937. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108937>
- Giancaterino, M., Werl, C., & Jaeger, H. (2024). Evaluation of the quality and stability of freeze-dried fruits and vegetables pre-treated by pulsed electric fields (PEF). *LWT*, 191, 115651. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115651>
- Grimi, N., Mamouni, F., Lebovka N., Vorobiev, E., & Vaxelaire, J. (2010). Acoustic impulse response in apple tissues treated by pulsed electric field. *Biosystems Engineering*, 105(2), 266–272. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2009.11.005>
- Islam, M. N., Zhang, M., Liu, H., & Xinfeng, C. (2015). Effects of ultrasound on glass transition temperature of freeze-dried pear (*Pyrus pyrifolia*) using DMA thermal analysis. *Food and Bioproducts Processing*, 94(May 2013), 229–238. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2014.02.004>
- Kajszczak, D., Zakłos-Szyda, M., & Podśedek, A. (2020). *Viburnum opulus L.*—A review of phytochemistry and biological effects. *Nutrients*, 12(11), 3398. <https://doi.org/10.3390/nu12113398>
- Krzykowski, A., Dziki, D., Rudy, S., Gawlik-Dziki, U., Polak, R. & Biernacka, B. (2018). Effect of pre-treatment conditions and freeze-drying temperature on the process kinetics and physicochemical properties of pepper. *LWT*, 98, 25–30. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.022>

- Lammerskitten, A., Wiktor, A., Siemer, C., Toepfl, S., Mykhailyk, V., Gondek, E., Rybak, K., Witrowa-Rajchert, D., & Parniakov, O. (2019). The effects of pulsed electric fields on the quality parameters of freeze-dried apples. *Journal of Food Engineering*, 252, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.006>
- Lewicki, P. P., Vu Le, H., & Pomarańska-Łazuka, W. (2002). Effect of pre-treatment on convective drying of tomatoes. *Journal of Food Engineering*, 54(2), 141–146. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(01\)00199-6](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00199-6)
- Li, J., Li, Z., Ma, Q., & Zhou, Y. (2023). Enhancement of anthocyanins extraction from haskap by cold plasma pretreatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103294. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103294>
- Liu, Q., Wu, H., Luo, J., Liu, J., Zhao, S., Hu, Q., & Ding, C. (2021). Effect of dielectric barrier discharge cold plasma treatments on flavor fingerprints of brown rice. *Food Chemistry*, 352(3), 129402. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129402>
- Loureiro, A. D. C., Souza, F. D. C. D. A., Sanches, E. A., Bezerra, J. A., Lamarão, C. V., Rodrigues, S., Fernandes, F. A. N., & Campelo, P. H. (2021). Cold plasma technique as a pretreatment for drying fruits: Evaluation of the excitation frequency on drying process and bioactive compounds. *Food Research International*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110462>
- Miraei Ashtiani, S. H., Rafiee, M., Mohebi Morad, M., Khojastehpour, M., Khani, M. R., Rohani, A., Shokri, B., & Martynenko, A. (2020). Impact of gliding arc plasma pretreatment on drying efficiency and physicochemical properties of grape. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 63, 102381. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102381>
- Obajemihi, O. I., Cheng, J. H., & Sun, D. W. (2024). Novel cold plasma functionalized water pretreatment for improving drying performance and physicochemical properties of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruits during infrared-accelerated pulsed vacuum drying. *Journal of Food Engineering*, 112050. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2024.112050>
- Pańska, D., Jeske, M., Łukanowski, A., Baturo-Cieśniewska, A., Prus, P., Maitah, M., Maitah, K., Malec, K., Rymarz, D., Muhiere, J. D., & Szwarc, K. (2022). Can cold plasma be used for boosting plant growth and plant protection in sustainable plant production? *Agronomy*, 12(4), 1–20. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040841>
- Ren, Z., & Bai, Y. (2018). Ultrasound pretreatment of apple slice prior to vacuum freeze drying. *Proceedings of the 2<sup>nd</sup> International Conference on Material Science, Energy and Environmental Engineering* (pp. 112–117). Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/mseee-18.2018.20>
- Ricce, C., Rojas, M. L., Miano, A. C., Siche, R., & Augusto, P. E. D. (2016). Ultrasound pre-treatment enhances the carrot drying and rehydration. *Food Research International*, 89, 701–708. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.09.030>
- Rittiphet, C., Dumyang, K., & Matan, N. (2021). Effect of pre-mechanical compression on free water removal, drying collapses and associated internal voids of oil palm wood.
- European Journal of Wood and Wood Products, 79(4), 925–940. <https://doi.org/10.1007/s00107-021-01674-6>
- Roueita, G., Hojjati, M., & Noshad, M. (2020). Study of physicochemical properties of dried kiwifruits using the natural hypertonic solution in ultrasound-assisted osmotic dehydration as pretreatment. *International Journal of Fruit Science*, 20(S2), S491–S507. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1741057>
- Rudy, S., Dziki, D., Krzykowski, A., Gawlik-Dziki, U., Polak, R., Różył, R., & Kulig, R. (2015). Influence of pre-treatments and freeze-drying temperature on the process kinetics and selected physico-chemical properties of cranberries (*Vaccinium macrocarpon* Ait.). *LWT*, 63(1), 497–503. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.067>
- Sette P., Salvatori D., & Schebor C. (2016). Physical and mechanical properties of raspberries subjected to osmotic dehydration and further dehydration by air-and freeze-drying. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 156–171. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.018>
- Shishegarha, F., Makhlof, J., & Ratti, C. (2002). Freeze-drying characteristics of strawberries. *Drying Technology*, 20(1), 131–145. <https://doi.org/10.1081/DRT-120001370>
- Shishir, M. R. I., Karim, N., Bao, T., Gowd, V., Ding, T., Sun, C., & Chen, W. (2020). Cold plasma pretreatment—A novel approach to improve the hot air drying characteristics, kinetic parameters, and nutritional attributes of shiitake mushroom. *Drying Technology*, 38(16), 2134–2150. <https://doi.org/10.1080/07373937.2019.1683860>
- Sosnin, M. D., & Shorstkii, I. A. (2020). Microplasma pretreatment of mango fruits during freeze drying with thermoelectric emission. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(4), 681–689. <https://doi.org/10.21603/2074>
- Warne, G. R., Lim, M., Wilkinson, K., Hessel, V., & Williams, P. M. (2023). Radiofrequency cold plasma — A novel tool for flavour modification in fresh and freeze-dried strawberries. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 90, 103497. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103497>
- Wu, X.-fei, Zhang, M., Ye, Y., & Yu, D. (2020). Influence of ultrasonic pretreatments on drying kinetics and quality attributes of sweet potato slices in infrared freeze drying. *LWT*, 131, 109801. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109801>
- Teng, X., Zhang, M., Devahastin, S., & Yu, D. (2020). Establishment of lower hygroscopicity and adhesion strategy for infrared-freeze-dried blueberries based on pretreatments using CO<sub>2</sub> laser in combination with ultrasound. *Food and Bioprocess Technology*, 13, 2043–2053. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02543-5>
- Zhang, C., Lyu, X., Arshad, R. N., Aadil, R. M., Tong, Y., Zhao, W., & Yang, R. (2023). Pulsed electric field as a promising technology for solid foods processing: A review. *Food Chemistry*, 403, 134367. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134367>
- Zhang, L., Liao, L., Qiao, Y., Wang, C., Shi, D., An K., & Hu, J. (2020). Effects of ultrahigh pressure and ultrasound pretreatments on properties of strawberry chips prepared by vacuum-freeze drying. *Food Chemistry*, 303, 125386. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125386>

# Стабильность при хранении полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника

<sup>1</sup> Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Кемеровский государственный университет, г. Кемерово, Российская Федерация

О. В. Голуб<sup>1</sup>, О. К. Мотовилов<sup>1</sup>, Н. В. Мотовилова<sup>1</sup>, Н. И. Давыденко<sup>2</sup>

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Ольга Валентиновна Голуб

E-mail: golubov@sfsca.ru

## ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Голуб, О., Мотовилов, О., Мотовилова, Н., & Давыденко, Н. (2024). Стабильность при хранении полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(2), 99–115. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.567>

ПОСТУПИЛА: 30.10.2023

ДОРРАБОТАНА: 13.05.2024

ПРИНЯТА: 15.06.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** В процессе хранения плодовых пюре происходят многочисленные изменения, многие из которых приводят к негативным изменениям качества продукции.

**Цель:** В рамках данной работы изучена стабильность физико-химических, микробиологических и органолептических показателей полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника при хранении.

**Материалы и методы:** Объект исследований – качественные характеристики полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника, выработка которых осуществлялась по технологиям классической и предусматривающей использование роторно-диспергирующего устройства (МАГ-50) из свежего и быстрозамороженного сырья сортов Сенатор и Розовый 2, хранение – в стеклянных банках при температуре и относительной влажности воздуха соответственно не выше 20 °C и 75 %, в защищенном от прямых солнечных лучей месте в течение 30 месяцев. Методы исследований – стандартные.

**Результаты:** Установили, что срок хранения оказывал значимое влияние на исследуемые показатели качества продукции, вне зависимости от сорта и состояния используемого при изготовлении сырья, технологии получения (сила влияния более 82,0 %). По истечении исследуемого периода хранения продукции количество растворимых сухих веществ, сахаров и титруемых кислот снижалось соответственно в среднем на 6,0, 6,9 и 3,6 %, потери пищевых волокон и аскорбиновой кислоты – соответственно в среднем 7,1 и 48,4 %, отсутствовал рост микроорганизмов. Сохранность органолептических оценок к концу исследуемого периода хранения продукции за внешний вид, цвет, текстуру, запах, вкус и послевкусие соответственно в среднем 78,8, 81,4, 80,7, 81,9 и 81,1 %.

**Выводы:** Исследования показали, что применение роторно-диспергирующего устройства при изготовлении полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника повышает стабильность микробиологических и органолептических показателей.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

крыжовник; пюре; хранение; физико-химические показатели; биологически активные соединения; безопасность; сенсорные характеристики

<sup>1</sup> Siberian Federal Scientific Center of Agro-biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

# Shelf Stability of Semi-Finished Purees from Gooseberry Berries

Olga V. Golub<sup>1</sup>, Oleg K. Motovilov<sup>1</sup>, Natalya V. Motovilova<sup>1</sup>, Natalia I. Davydenko<sup>2</sup>

## CORRESPONDENCE:

Olga V. Golub

E-mail: golubov@sfsca.ru

## DATA AVAILABILITY:

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

## FOR CITATIONS:

Golub, O.V., Motovilov, O.K., Motovilova, N. V., & Davydenko, N.I. (2024). Shelf stability of semi-finished purees from gooseberry berries. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 99–115.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.567>

RECEIVED: 30.10.2023

REVISED: 13.05.2024

ACCEPTED: 15.06.2024

PUBLISHED: 30.06.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** During the storage of fruit purees, numerous changes occur, many of them resulting in poor product quality.

**Purpose:** to study the shelf stability of physico-chemical, microbiological and organoleptic parameters of semi-finished puree products from gooseberry berries.

**Materials and Methods:** The study focuses on qualitative characteristics of semi-finished gooseberry purees produced using traditional technologies and involving the implementation of a rotary dispersing device (MAG-50) from fresh and quick-frozen raw materials of Senator and Rozovy 2 varieties. They were stored in glass jars under 20 °C and relative humidity of air not more than 75 % in a place protected from direct sunlight for 30 months. The research utilizes conventional methods.

**Results:** It was found out that the shelf life had a significant impact on the studied product quality indicators, regardless of the variety and condition of the raw materials used in the processing, as well as their production technology (the influence strength is more than 82.0%). After the end of the studied storage period of the product, the amount of soluble solids, sugars and titrated acids decreased by an average of 6.0, 6.9 and 3.6 %, respectively. The loss of dietary fiber and ascorbic acid was an average of 7.1 and 48.4%, respectively. Also, there was no growth of microorganisms. The preservation of organoleptic assessments by the end of the studied storage period of the product for appearance, color, texture, smell, taste and aftertaste, respectively, was on average 78.8, 81.4, 80.7, 81.9 and 81.1 %.

**Conclusion:** Studies have shown that the use of a rotary dispersing device in the manufacture of semi-finished gooseberry purees increases the stability of microbiological and organoleptic indicators.

## KEYWORDS

gooseberries; puree; storage; physicochemical indicators; biologically active compounds; safety; organoleptic indicators

## ВВЕДЕНИЕ

Более 190 видов растений входят в род Смородина (*Ribes*) семейства Крыжовниковых (*Grossulariaceae*). Одним из видов является Крыжовник обыкновенный или Крыжовник отклонённый или Крыжовник европейский (*Grossularia reclinata* (L.) или *Ribes uva-crispa* (L.)). Крыжовник произрастает во многих странах мира. Площади насаждений крыжовника в России составляют, по данным Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2006 г., 7927,0 га (после земляники, смородины, малины и облепихи)<sup>1</sup>. В настоящее время 56 сортов крыжовника допущено к использованию на территории нашей страны<sup>2</sup>.

Ягоды крыжовника являются источником многих биохимических соединений, которые обуславливают их оригинальные органолептические характеристики, пищевую ценность, направления использования и т.д.: сахаров (глюкозы, фруктозы, сахарозы и пр.), пектиновых (протопектин, пектин, пектовая кислота) и минеральных веществ (калий, фосфор, кальций и пр.), органических кислот (лимонной, яблочной, шикимовой и пр.), клетчатки, фенольных соединений (флавонолы (кверцетин, мерицетин, кемпферол и пр.), витаминов (аскорбиновой кислоты, β-каротина, группы В и пр.), других (Акимов и соавт., 2020; Дейнека и соавт., 2020; Жбанова и соавт., 2021; Попова и соавт., 2023; Тиунов и соавт., 2022; Erbil et al., 2021; Kendir et al., 2019; Pluta et al., 2018).

Ягоды крыжовника используются как самостоятельно в свежем виде, так и из-за своего относительно короткого срока хранения и биохимического состава, при изготовлении различных продуктов питания — джемов, молочных, творожных и молокосодержащих продуктов, кондитерских изделий, алкогольных и безалкогольных напитков, пресервов, растительных масел, наполнителей, приправ, пищевых добавок, пр. (Горлов и соавт., 2018; Долматова, 2021; Зубова и соавт., 2023, Кулагина и соавт., 2020; Левгерова и соавт., 2020; Лимонникова и соавт., 2021; Маслов и соавт., 2022). Одним из вариантов применения ягод

крыжовника является изготовление пюре, которое, впоследствии, можно использовать не только как самостоятельный продукт питания, но и как ингредиент при изготовлении другой пищевой продукции. Однако следует отметить, что плодовое пюре имеет ограниченный срок хранения из-за потерь пищевой ценности. (Бурак и соавт., 2021; Голуб и соавт., 2010, Bainotti et al., 2024).

Технология изготовления продукции и продолжительность ее последующего хранения относятся к одним из основных факторов, обеспечивающих потребителей качественной продукцией. Классическая технология изготовления плодового пюре предусматривает в результате проводимых технологических операций (уваривание, подогревание, стерилизация и пр.), прежде всего, высокотермическую обработку сырья, приводящую к получению продукции, обладающей оригинальными органолептическими характеристиками, за счет различных структурно-механических и физико-химических изменений веществ сырья (деструкции клеточных стенок, протопектина, набухания клетчатки, перехода содержимого клеток в окружающую среду, пр.), а также длительным сроком хранения, за счет снижения микробной нагрузки, ингибирования ферментативных реакций и пр. (Vidigal et al., 2023).

С целью ограничения высокотермических процессов при изготовлении плодового пюре, с целью лучшего сохранения ароматических соединений, физиологически ценных компонентов, а также сокращения продолжительности технологического процесса, проводятся исследования по использованию альтернативных технологий, например, основанные на использовании холодной плазмы, озона, высокого давления и пр. (Бурак и соавт., 2021; Посокина и соавт., 2023; Pérez-Lamela et al., 2021).

Grobelna с соавторами (2019) установили, что по истечении 4 месяцев хранения при  $20 \pm 1^{\circ}\text{C}$  пюре из ягод жимолости существенное влияние на содержание в нем биологически активных соединений оказывали сорт сырья (со-

<sup>1</sup> Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2006 года. Т. 4: Посевные площади сельскохозяйственных культур и площади многолетних насаждений и ягодных культур: кн. 1: Площади сельскохозяйственных культур и многолетних насаждений / Федеральная служба гос. статистики. М.: ИИЦ «Статистика России», 2008.

<sup>2</sup> Государственный реестр селекционных достижений допущенных к использованию. Том 1. Сорта растений. <https://676.su/Ux52>

хранность витамина С и полифенолов лучше у сорта *Volshebnica*, антоцианов — *Sineglaska*) и технология изготовления (сохранность витамина С лучше у продукции без термической обработки, антоцианов — с термической обработкой при температуре 85 °С в течение 2,5 мин, полифенолов — гомогенизированном), отсутствовали значимые различия по содержанию растворимых сухих веществ, титруемой и активной кислотностям; Saarniit с соавторами (2023) определили, что тип упаковки «дой-пак» (гибкие полимерные пакеты со слоем алюминия и без него) не оказывал существенного влияния на изменения рН и содержание суммы фенольных соединений термически обработанного (103 °С, 43 мин) пюре манго-морковно-облепихового в процессе хранения (427 суток при 23 °С, 66 суток при 40 °С), Pino-Hernández E. с соавторами (2024) установили, на основании исследований содержания *Escherichia coli*, антиоксидантной активности, степени потемнения яблочного пюре, хранившегося на протяжении 30 суток при температуре 5 °С и относительной влажности 70%, что обработку продукции лучше осуществлять используя высокое давление (400 МПа, 1 мин) или импульсные электрические поля (57,2 °С, 10 кВ/см, 70 биполярных импульсов по 8 мкс каждый), а не ультразвук (60 °С, 20 кГц, 12 мин) или термическую пастеризацию (72 °С, 15 с).

Использование роторных аппаратов при изготовлении пюреобразной продукции из плодов или с их использованием представляет собою перспективное направление исследований, поскольку механическое, гидродинамическое и гидроакустическое воздействия, возникающие в процессе их работы, позволяют получить про-

дукты, обладающие высокой пищевой ценностью и длительным сроком хранения (Иванец с соавт., 2012; Протасова с соавт., 2023).

Несколько известно авторам, исследования по определению стабильности полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника разных сортов, в том числе полученных по технологии, предусматривающей использование роторно-диспергирующего устройства, в процессе хранения отсутствуют. Цель данного исследования — изучение стабильности физико-химических, микробиологических и органолептических показателей полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника при хранении.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

Объекты исследований — качественные характеристики полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника сортов Сенатор (код сорт 8903972; год включения в реестр допущенных 1995, срок созревания ранний) и Розовый 2 (код сорт 6402178; год включения в реестр допущенных 1971, срок созревания средний). Ягоды крыжовника собирали на биополигоне Федерального государственного бюджетного учреждения науки Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук.

В Таблице 1 представлена кодировка исследуемых в рамках данной работы полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника.

**Таблица 1**

Кодировка полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника

Код полуфабриката-пюре из ягод	Сорт	Состояние ягод	Технология изготовления
ССК	Сенатор	свежие	классическая
СБК		быстрозамороженные	
ССМ		свежие	с использованием роторного аппарата
СБМ		быстрозамороженные	
РСК	Розовый 2	свежие	классическая
РБК		быстрозамороженные	
PCM		свежие	с использованием роторного аппарата
РБМ		быстрозамороженные	

## Оборудование

При выполнении исследований использовано следующее оборудование: баня водяная Biosan WB-4MS (Латвия), весы лабораторные Ohaus PA2102C (Китай), весы лабораторные Ohaus PA214 (Китай), гомогенизатор HG-15F-Set (Корея), измеритель pH Ohaus Starter 2100 (Китай), микроскоп Микромед 2 (Россия), печь муфельная SNOL (Литва), плита программируемая ПЛП-03 НПП «Томьянанлит» (Россия), рефрактометр ИРФ-454 Б2М (Россия), стерилизатор паровой ВК-0701 (Россия), термостат MIR-262 Sanyo (Япония), шкаф сушильный ШС-80 (Россия).

## Методы

При проведении исследований использовали стандартные методы определения: растворимых сухих веществ, титруемых кислот, сахаров, пищевых волокон, аскорбиновой кислоты, количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, бактерий группы кишечной палочки, бактерий рода *Salmonella*, плесневых грибов и дрожжей – соответственно согласно ГОСТ ISO 2173–2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ», ГОСТ ISO 750–2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности», ГОСТ 8756.13–87 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров», ГОСТ 34844–2022 «Про-

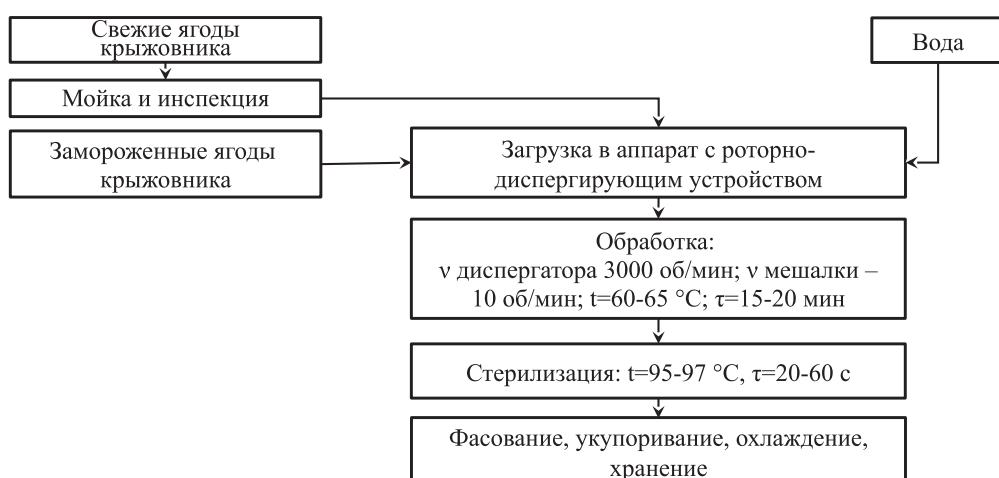
дукция пищевая. Определение массовой доли пищевых волокон», ГОСТ 24556–89 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С», ГОСТ 10444.15–94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов», ГОСТ 31747–2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)», ГОСТ 31659–2012 (ISO 6579:2002) «Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*», ГОСТ 10444.12–2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов». Органолептическую оценку полуфабриката-пюре из ягод крыжовника осуществляли, используя 5-балльную шкалу с учетом коэффициентов весомости (для внешнего вида К = 0,1; цвета К = 0,1; текстуры К = 0,3; запаха К = 0,2; вкуса и послевкусия К = 0,3) [3].

## Процедура исследования

Продукция изготавливается по технологиям: классической; предусматривающей использование аппарата с роторно-диспергирующим устройством (МАГ-50, Россия). На Рисунке 1 представлена принципиальная схема производства полуфабриката-пюре из ягод крыжовника, предусматривающая использование МАГ-50 (Россия).

**Рисунок 1**

Принципиальная схема производства полуфабриката-пюре из ягод крыжовника



## Анализ данных

Все экспериментальные определения проводили в трех-пяти повторностях, результаты представляли, как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение. Однофакторный дисперсионный анализ применялся для оценки изменений характеристик качества полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника в процессе хранения, тест Тьюки — для сравнения средних значений ( $p < 0,05$ ), метод Сnedекора — для определения силы влияния независимой переменной (срок хранения)

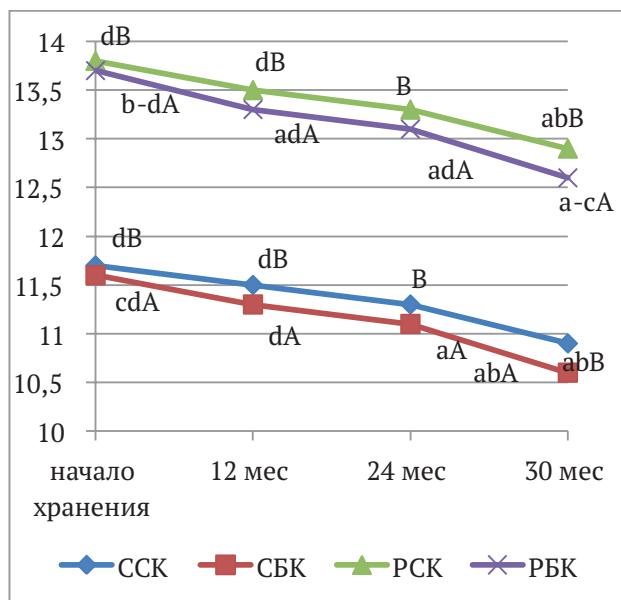
## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Физико-химические параметры

Результаты исследований влияния продолжительности хранения на изменения качественных характеристик полуфабрикатов-пюре из свежих или замороженных ягод крыжовника сортов Сенатор и Розовый 2 по технологиям классической и предусматривающей использование роторно-диспергирующего устройства представлены на Рисунках 2–4 и в Таблице 2.

**Рисунок 2**

Массовая доля растворимых сухих веществ, %



а) классическая технология изготовления;

Примечания: различия средних значений с разными строчными буквами (a-d – по сроку хранения) существенны ( $p < 0,05$ ); различия средних значений с разными прописными буквами (A-B – по сорту ягод) существенны ( $p < 0,05$ )

### Биологически активные вещества

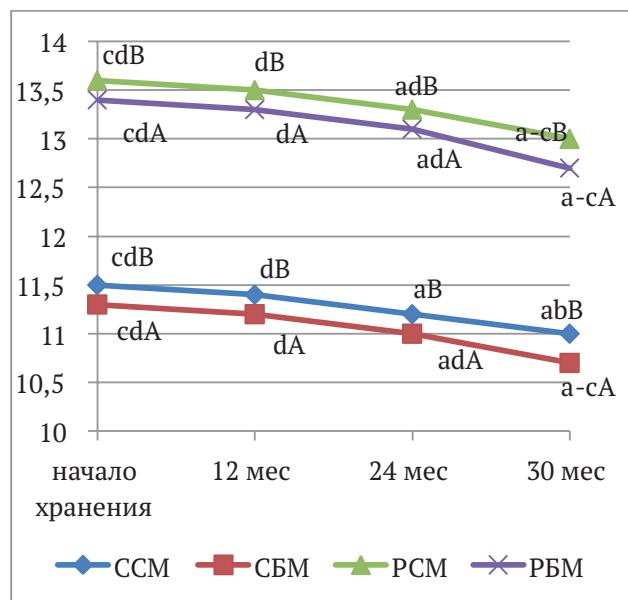
Изменения содержания биологически активных веществ полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника, полученных из разных сортов, состояний и по разным технологиям количественно определяли в процессе хранения. Результаты исследований представлены в Таблице 3.

### Микробиологические показатели

В Таблице 4 представлены результаты исследований содержания мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, плесневых грибов и дрожжей в процессе хранения полуфабрикатов-пюре из свежих или замороженных ягод крыжовника сортов Сенатор и Розовый 2 по технологиям классической и предусматривающей использование роторно-диспергирующего устройства.

### Органолептическая оценка

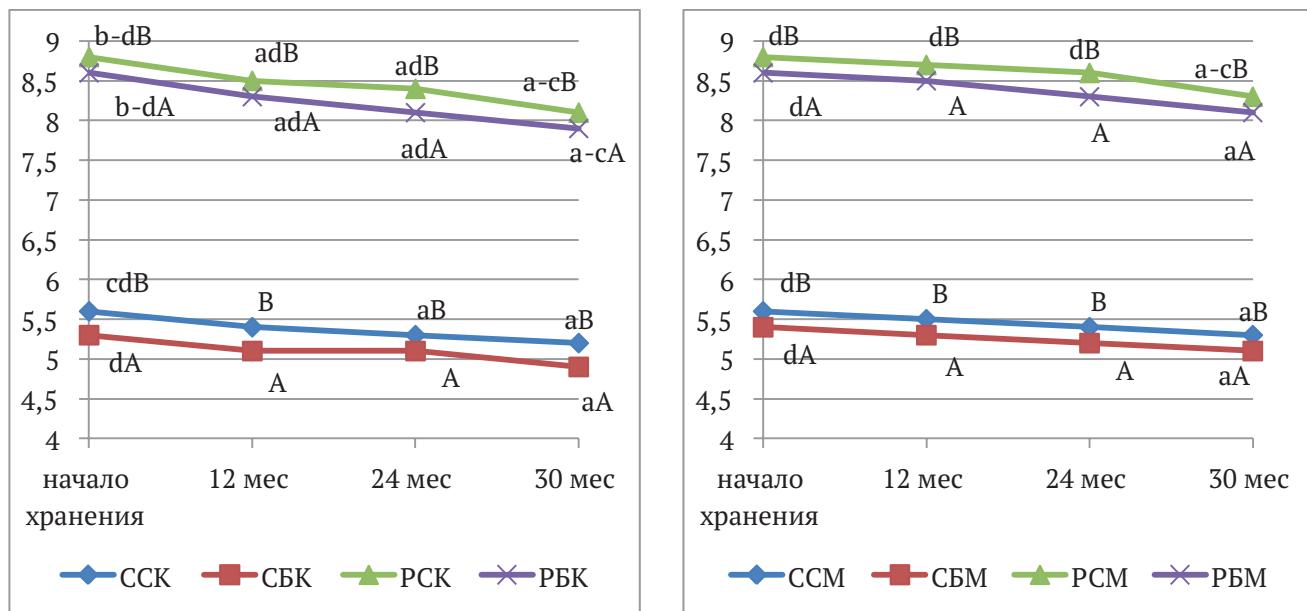
Результаты изменений в процессе хранения оценок органолептических показателей полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника, полученных из разных сортов, состояния и технологиям, представлены на Рисунке 5 и в Таблице 5.



б) технология изготовления с использованием роторного аппарата

**Рисунок 3**

Массовая доля сахаров, %



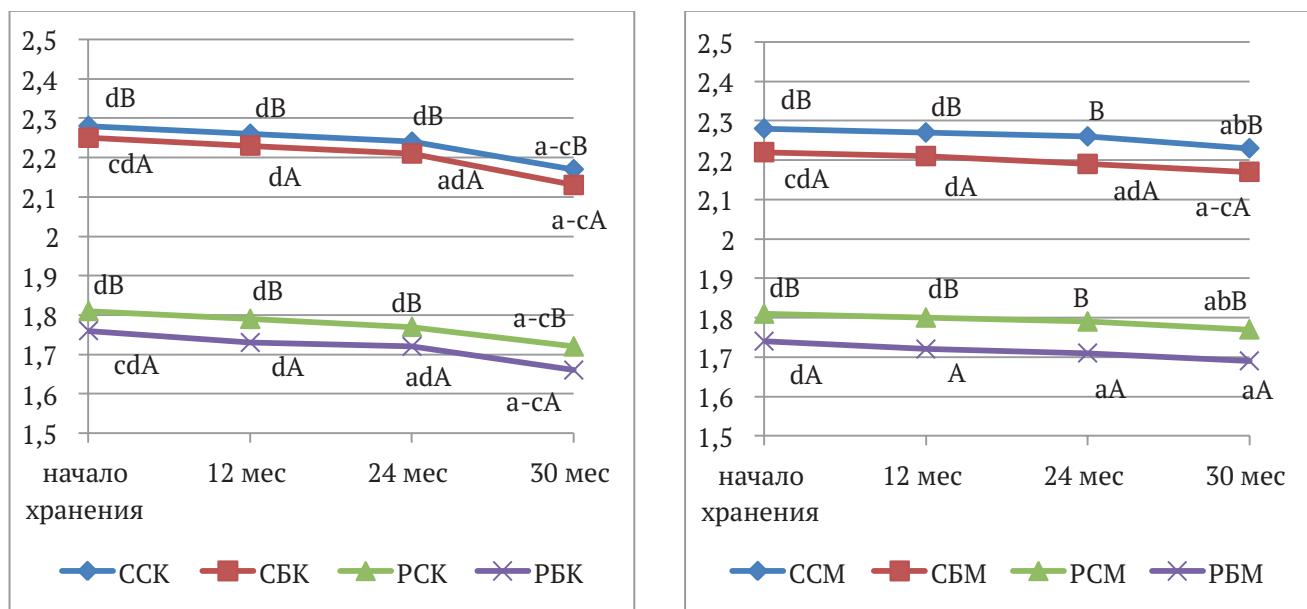
а) классическая технология изготовления;

б) технология изготовления с использованием роторного аппарата

Примечания: различия средних значений с разными строчными буквами (a-d – по сроку хранения) существенны ( $p < 0,05$ ); различия средних значений с разными прописными буквами (A-B – по сортам ягод) существенны ( $p < 0,05$ )

**Рисунок 4**

Массовая доля титруемых кислот (по лимонной), %



а) классическая технология изготовления;

б) технология изготовления с использованием роторного аппарата

Примечания: различия средних значений с разными строчными буквами (a-d – по сроку хранения) существенны ( $p < 0,05$ ); различия средних значений с разными прописными буквами (A-B – по сортам ягод) существенны ( $p < 0,05$ )

**Таблица 2**

Сила влияния срока хранения на физико-химические показатели полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника, % (р &lt;0,01)

Полуфабрикат-пюре	Массовая доля		
	растворимых сухих веществ	сахаров	титруемых кислот
CCK	89,6	90,5	96,3
СБК	93,8	84,9 (р <0,05)	98,8
CCM	93,9	84,0 (р <0,05)	85,8 (р <0,05)
СБМ	95,4	81,2 (р <0,05)	94,2
PCK	91,1	92,6	94,3
РБК	98,5	96,8	97,5
PCM	94,9	93,3	91,1
РБМ	96,6	86,8 (р <0,05)	83,7 (р <0,05)

**Таблица 3**

Изменения биологически активных соединений полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника в процессе хранения

Показатель	Полуфабрикат-пюре	Срок хранения, мес			Сила влияния срока хранения, %
		0	12	24	
Массовая доля пищевых волокон, %	CCK	2,56	2,00	1,98	1,97 99,9 (<0,01)
	СБК	2,35	2,31	2,25	2,18 97,9 (<0,01)
	CCM	2,61 ± 0,02 <sup>dB</sup>	2,60 ± 0,02 <sup>dB</sup> F	2,58 ± 0,02 <sup>B</sup> F	2,54 ± 0,02 <sup>aB</sup> F 87,8 (<0,05)
	СБМ	2,53 ± 0,03 <sup>dA</sup>	2,51 ± 0,03 <sup>AE</sup>	2,49 ± 0,03 <sup>AE</sup>	2,45 ± 0,03 <sup>aAE</sup> 84,7 (<0,05)
	PCK	2,06 ± 0,03 <sup>cDB</sup>	2,02 ± 0,03 <sup>dB</sup> F	1,99 ± 0,03 <sup>aBF</sup>	1,92 ± 0,03 <sup>abBF</sup> 93,6 (<0,01)
	РБК	1,88 ± 0,02 <sup>cdA</sup>	1,85 ± 0,02 <sup>dAE</sup>	1,81 ± 0,02 <sup>adAE</sup>	1,74 ± 0,02 <sup>a-cAE</sup> 96,7 (<0,01)
	PCM	2,07 ± 0,02 <sup>dB</sup>	2,06 ± 0,02 <sup>BF</sup>	2,04 ± 0,02 <sup>BF</sup>	2,01 ± 0,02 <sup>aBF</sup> 84,0 (<0,05)
	РБМ	2,00 ± 0,01 <sup>cdA</sup>	1,98 ± 0,01 <sup>AE</sup>	1,97 ± 0,01 <sup>aAE</sup>	1,96 ± 0,01 <sup>aAE</sup> 90,9 (<0,01)
Массовая доля аскорбиновой кислоты, мг/100 г	CCK	13,751 ± 0,499 <sup>b-dB</sup>	12,569 ± 0,456 <sup>acdB</sup>	9,722 ± 0,352 <sup>abdBF</sup>	5,941 ± 0,215 <sup>a-cBF</sup> 99,6 (<0,01)
	СБК	11,736 ± 0,451 <sup>b-dA</sup>	10,668 ± 0,410 <sup>acda</sup>	8,086 ± 0,311 <sup>abdAE</sup>	4,659 ± 0,179 <sup>a-cAE</sup> 99,6 (<0,01)
	CCM	14,411 ± 0,536 <sup>cdb</sup>	13,861 ± 0,516 <sup>dB</sup>	12,682 ± 0,472 <sup>abdF</sup>	8,696 ± 0,324 <sup>a-cBF</sup> 98,9 (<0,01)
	СБМ	13,935 ± 0,503 <sup>cdA</sup>	13,022 ± 0,470 <sup>cdA</sup>	11,740 ± 0,424 <sup>abdAE</sup>	7,901 ± 0,285 <sup>a-cAE</sup> 99,1 (<0,01)
	PCK	21,504 ± 0,592 <sup>b-dB</sup>	19,697 ± 0,543 <sup>acdB</sup>	15,332 ± 0,422 <sup>abdF</sup>	9,806 ± 0,270 <sup>a-cBF</sup> 99,7 (<0,01)
	РБК	19,182 ± 0,252 <sup>b-dA</sup>	17,341 ± 0,228 <sup>acda</sup>	13,370 ± 0,176 <sup>abdAE</sup>	7,558 ± 0,099 <sup>a-cAE</sup> 99,9 (<0,01)
	PCM	23,710 ± 0,479 <sup>cdb</sup>	22,927 ± 0,463 <sup>cdb</sup>	21,244 ± 0,429 <sup>abdF</sup>	14,811 ± 0,299 <sup>a-cBF</sup> 99,6 (<0,01)
	РБМ	22,697 ± 0,470 <sup>b-dA</sup>	21,385 ± 0,442 <sup>acdA</sup>	19,360 ± 0,400 <sup>abdAE</sup>	13,300 ± 0,275 <sup>a-cAE</sup> 99,7 (<0,01)

Примечания: различия средних значений в строке с разными строчными буквами (а-д – по сроку хранения) существенны (р < 0,05); различия средних значений в столбце с разными прописными буквами (А-В – по сорту ягод; С-Д – по состоянию ягод; Е-Ф – по технологии изготовления) существенны (р < 0,05)

**Таблица 4**

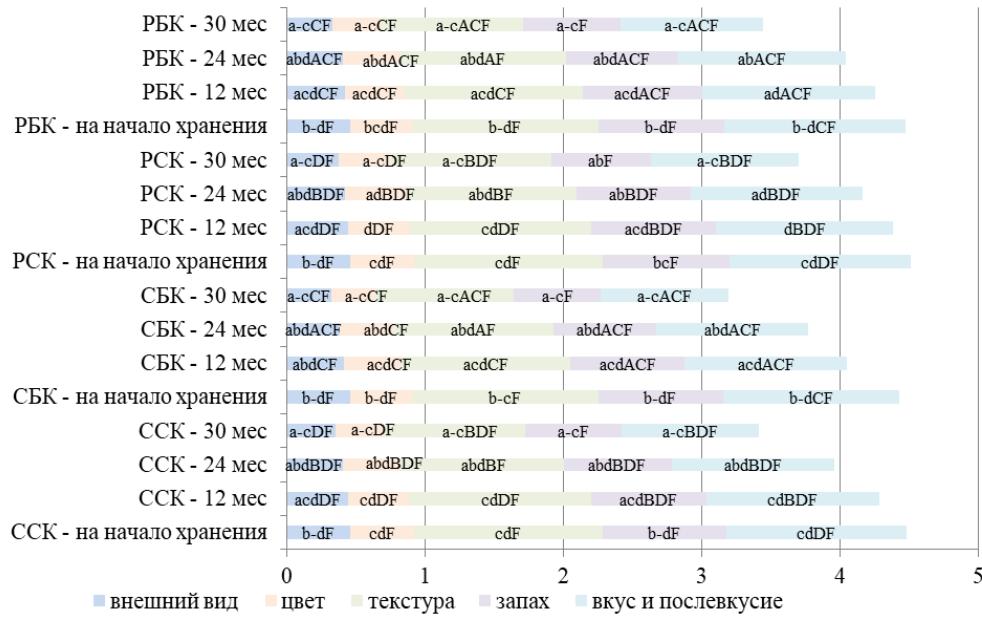
Изменения микробиологических показателей полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника в процессе хранения, КОЕ/г

Показатель	Полуфа-брюкват-пюре	Срок хранения, мес				Сила влияния срока хранения, %
		0	12	24	30	
Среднее количество колоний мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов	CCK	(31,36 ± 2,34)×10 <sup>b-dDF</sup>	(8,19 ± 1,20)×10 <sup>a-cdF</sup>	(3,64 ± 0,80)×10 <sup>abF</sup>	(1,44 ± 0,50)×10 <sup>abDF</sup>	99,8 (<0,01)
	СБК	(12,27 ± 1,46)×10 <sup>b-dCE</sup>	(6,36 ± 1,05)×10 <sup>a-cdCE</sup>	(0,91 ± 0,40)×10 <sup>abE</sup>	Нет роста <sup>abCE</sup>	99,3 (<0,01)
	CCM	(4,09 ± 0,85)×10 <sup>cdDF</sup>	(3,18 ± 0,75)×10 <sup>cdDF</sup>	Нет роста <sup>abF</sup>	Нет роста <sup>abDF</sup>	97,1 (<0,01)
	СБМ	(1,82 ± 0,56)×10 <sup>cdCE</sup>	(1,36 ± 0,49)×10 <sup>cdCE</sup>	Нет роста <sup>abE</sup>	Нет роста <sup>abCE</sup>	96,2 (<0,01)
	PCK	(28,18 ± 2,21)×10 <sup>b-dDF</sup>	(10,46 ± 1,35)×10 <sup>a-cdDF</sup>	(4,54 ± 0,89)×10 <sup>abDF</sup>	(1,36 ± 0,49)×10 <sup>a-dDF</sup>	99,8 (<0,01)
	РБК	(10,91 ± 1,38)×10 <sup>b-CE</sup>	(5,00 ± 0,93)×10 <sup>a-cE</sup>	(1,81 ± 0,56)×10 <sup>abE</sup>	Нет роста <sup>abCE</sup>	99,0 (<0,01)
	PCM	(5,46 ± 0,98)×10 <sup>cdDF</sup>	(4,09 ± 0,85)×10 <sup>cdDF</sup>	Нет роста <sup>abF</sup>	Нет роста <sup>abDF</sup>	98,3 (<0,01)
	РБМ	(2,27 ± 0,63)×10 <sup>b-dCE</sup>	(0,91 ± 0,40)×10 <sup>a-cdCE</sup>	Нет роста <sup>abE</sup>	Нет роста <sup>abCE</sup>	97,1 (<0,01)
Среднее количество колоний плесневых грибов	CCK	(8,64 ± 1,22)×10 <sup>b-dDF</sup>	(4,09 ± 0,85)×10 <sup>a-cdDF</sup>	(0,91 ± 0,40)×10 <sup>abDF</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	98,4 (<0,01)
	СБК	(4,55 ± 0,89)×10 <sup>b-dCE</sup>	(2,27 ± 0,63)×10 <sup>a-cdCE</sup>	Нет роста <sup>abCE</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	98,2 (<0,01)
	CCM	(2,73 ± 0,69)×10 <sup>b-dDF</sup>	(1,36 ± 0,49)×10 <sup>a-cdDF</sup>	Нет роста <sup>abDF</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	95,2 (<0,01)
	СБМ	(0,91 ± 0,40)×10 <sup>b-dCE</sup>	Нет роста <sup>aCE</sup>	Нет роста <sup>aCE</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	92,3 (<0,01)
	PCK	(9,55 ± 1,29)×10 <sup>b-dDF</sup>	(4,46 ± 0,98)×10 <sup>a-cdDF</sup>	(1,82 ± 0,56)×10 <sup>abDF</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	98,6 (<0,01)
	РБК	(5,91 ± 1,02)×10 <sup>b-dCE</sup>	(3,18 ± 0,75)×10 <sup>a-cdCE</sup>	Нет роста <sup>abCE</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	98,3 (<0,01)
	PCM	(3,18 ± 0,75)×10 <sup>b-dDF</sup>	(1,82 ± 0,56)×10 <sup>a-cdDF</sup>	Нет роста <sup>abDF</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	96,5 (<0,01)
	РБМ	(1,82 ± 0,56)×10 <sup>b-dCE</sup>	Нет роста <sup>aCE</sup>	Нет роста <sup>aCE</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	98,2 (<0,01)
Среднее количество колоний дрожжей	CCK	(5,91 ± 1,02)×10 <sup>b-dD</sup>	(1,36 ± 0,49)×10 <sup>a-cdF</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	98,9 (<0,01)
	СБК	(2,73 ± 0,69)×10 <sup>cDC</sup>	(1,82 ± 0,56)×10 <sup>cde</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	Нет роста <sup>ab</sup>	95,6 (<0,01)
	CCM	(4,55 ± 0,89)×10 <sup>b-dD</sup>	(0,91 ± 0,40)×10 <sup>aF</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	98,2 (<0,01)
	СБМ	(1,82 ± 0,56)×10 <sup>b-dC</sup>	Нет роста <sup>aE</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	98,0 (<0,01)
	PCK	(3,63 ± 0,80)×10 <sup>b-dD</sup>	(0,91 ± 0,40)×10 <sup>aF</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	97,2 (<0,01)
	РБК	(2,73 ± 0,69)×10 <sup>b-dC</sup>	(0,91 ± 0,40)×10 <sup>aE</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	95,0 (<0,01)
	PCM	(2,73 ± 0,69)×10 <sup>b-dD</sup>	(0,91 ± 0,40)×10 <sup>aF</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	96,1 (<0,01)
	РБМ	(1,36 ± 0,49)×10 <sup>b-dC</sup>	Нет роста <sup>aE</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	Нет роста <sup>a</sup>	96,4 (<0,01)

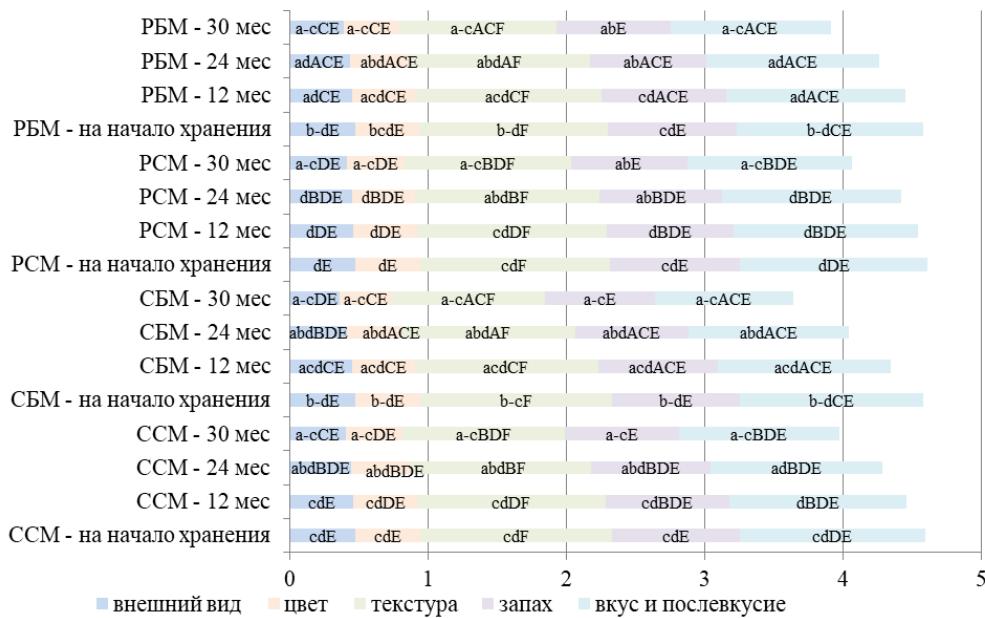
Примечания: различия средних значений в строке с разными строчными буквами (а-д – по сроку хранения существенны ( $p < 0,05$ ); различия средних значений в столбце с разными прописными буквами (А-В – по сорту ягод; С-Д – по состоянию ягод; Е-Ф – по технологии изготовления) существенны ( $p < 0,05$ )

**Рисунок 5**

Изменения органолептических показателей полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника в процессе хранения, балл



а) классическая технология изготовления



б) технология изготовления с использованием роторного аппарата

Примечания: различия средних значений с разными строчными буквами (a-d – по сроку хранения) существенны ( $p < 0,01$ ); различия средних значений с разными прописными буквами (A-B – по сорту ягод; C-D – по состоянию ягод; E-F – по технологии изготовления) существенны ( $p < 0,01$ )

**Таблица 5**Сила влияния срока хранения на органолептические показатели полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника, % ( $p < 0,01$ )

Полуфабрикат-пюре	Внешний вид	Цвет	Текстура	Запах	Вкус и послевкусие
ССК	99,2	98,9	99,0	98,7	98,4
СБК	99,4	99,4	99,0	99,4	98,7
ССМ	98,6	96,8 (< 0,01)	97,8	96,6 (< 0,01)	96,1 (< 0,01)
СБМ	99,3	99,1	99,0	98,2	99,1
РСК	98,9	98,9	98,1	98,9	98,5
РБК	99,5	99,3	99,3	99,4	99,0
PCM	98,3	97,0 (< 0,01)	97,4	96,6 (< 0,01)	95,9 (< 0,01)
РБМ	97,8	98,5	97,7	97,2	97,4

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

### Физико-химические параметры

В результате проведенных исследований установили (Таблица 2), что срок хранения полуфабрикатов-пюре оказывал значимое влияние на изменение содержания в них растворимых сухих веществ (сила влияния более 89,0%,  $p < 0,01$ ): через 12, 24 и 30 месяцев хранения уменьшилось в среднем на 1,6, 3,2 и 6,0% от первоначального количества (Рисунок 2). Аналогичная тенденция отмечалась при изменении содержания в продукции: сахаров (сила влияния более 84,0%,  $p < 0,05$ ) — через 12, 24 и 30 месяцев хранения снижение соответственно в среднем на 2,6, 4,0 и 6,9% от первоначального количества (Рисунок 3); титруемых кислот (сила влияния более 83,0%,  $p < 0,05$ ) — через 12, 24 и 30 месяцев хранения уменьшилось соответственно в среднем на 0,8, 1,5 и 3,6% от первоначального количества (Рисунок 4).

В продукции, изготовленной из ягод сорта Сенатор содержание растворимых сухих веществ через 12, 24 и 30 месяцев хранения соответственно в среднем в 1,18, 1,20 и 1,23 раза меньше, чем из сорта Розовый 2 ( $p < 0,01$ ), сахаров — на протяжении исследуемого периода хранения в среднем в 1,6 раз ( $p < 0,01$ ). В продукции, изготовленной из ягод сорта Сенатор, содержание титруемых кислот на протяжении исследуемого периода хранения продукции в среднем в 1,3 раза больше, чем из сорта Розовый 2 ( $p < 0,01$ ).

Не выявили значимых различий по изменению содержания растворимых сухих веществ, сахаров

и титруемых кислот при хранении продукции, изготовленной по классической технологии или предусматривающей использование оборудования с роторным аппаратом, из свежего или быстрозамороженного сырья ( $p > 0,05$ ).

### Биологически активные вещества

В результате проведенных исследований установили (табл. 3), что срок хранения полуфабрикатов-пюре оказывал значимое влияние на изменение содержания в них пищевых волокон (сила влияния более 84,0%,  $p < 0,05$ ): через 12, 24 и 30 месяцев хранения оно снижалось в среднем на 4,1, 5,2 и 7,1% от первоначального количества. Содержание пищевых волокон на протяжении исследуемого периода хранения продукции, изготовленной ( $p < 0,01$ ): из ягод сорта Сенатор в среднем в 1,19 раз меньше, чем из сорта Розовый 2; по технологии, предусматривающей использование оборудования с роторным аппаратом, в среднем в 1,13 раза больше, чем по классической. Не выявили значимых различий по изменению содержания нутриентов при хранении продукции, изготовленной из свежего или быстрозамороженного сырья ( $p > 0,05$ ).

Установили, что срок хранения оказывал влияние на снижение содержания в полуфабрикатах-пюре из ягод крыжовника аскорбиновой кислоты (сила влияния не менее 98,0% при  $p < 0,01$ ) — сохранность через 12, 24 и 30 месяцев соответственно в среднем до 93,3, 79,2 и 51,6% от первоначального количества. В продукции, изготовленной из ягод сорта Сенатор содержание аскорбиновой кислоты на протяжении исследуемого периода хранения в среднем в 1,4 раза меньше, чем из сорта Розовый 2 ( $p < 0,01$ ).

В продукции, изготовленной по технологии, предусматривающей использование роторного аппарата, количество аскорбиновой кислоты в процессе хранения достоверно больше, чем по классической ( $p < 0,01$ ) — на начало хранения, через 12, 24 и 30 месяцев соответственно в 1,1, 1,2, 1,4 и 1,6 раз. Не выявили значимых различий по изменению содержания аскорбиновой кислоты при хранении продукции, изготовленной из свежих или быстрозамороженных ягод ( $p > 0,05$ ).

## Микробиологические показатели

В результате проведенных исследований установили (Таблица 4), что срок хранения полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника оказывал влияние на изменение среднего количества колоний мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, плесневых грибов и дрожжей — сила влияния соответственно не менее 96,0, 92,0 и 95,0 ( $p < 0,01$ ).

Отметили снижение численности колониеобразующих единиц мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов на протяжении исследуемого периода хранения полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника через 12, 24 и 30 месяцев соответственно в среднем до 6,3, 1,5 и 0,4 % от первоначального количества ( $p < 0,01$ ). В продукции, изготовленной по технологии, предусматривающей использование роторного аппарата, количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в процессе хранения меньше, чем по классической ( $p < 0,01$ ): на начало хранения и через 12 соответственно в 45,4 и 3,1 раз; через 24 месяцев хранения — присутствовали в продукции, изготовленной по классической технологии вне зависимости от состояния сырья; через 30 месяцев — только в продукции из свежего сырья. Количество исследуемых микроорганизмов в полуфабрикатах-пюре из свежих ягод в процессе хранения больше, чем из быстрозамороженных ( $p < 0,01$ ): на начало хранения, через 12 и 24 месяцев соответственно в 22,2, 1,9 и 2,5 раз; через 30 месяцев — присутствовали только в продукции, изготовленной из свежего сырья по классической технологии.

Установили снижение численности колониеобразующих единиц плесневых грибов на протяжении исследуемого периода хранения полуфабри-

катов-пюре из ягод крыжовника — через 12, 24 и 30 месяцев соответственно в среднем до 46,3, 7,3 и 0,0 % от первоначального количества ( $p < 0,01$ ). В продукции, изготовленной по технологии, предусматривающей использование роторного аппарата, количество плесневых грибов в процессе хранения меньше, чем по классической ( $p < 0,01$ ): на начало хранения и через 12 месяцев соответственно в 3,3 и 4,4 раз; через 24 месяцев — микроорганизмы присутствовали в продукции, изготовленной по классической технологии из свежего сырья. Количество исследуемых микроорганизмов в полуфабрикатах-пюре из свежих ягод в процессе хранения больше, чем из быстрозамороженных ( $p < 0,01$ ): на начало хранения и через 12 месяцев соответственно в 1,8 и 2,2 раз; по истечении 24 месяцев — присутствовали только в продукции, изготовленной из свежего сырья.

Отметили снижение численности колониеобразующих единиц дрожжей после 12 месяцев хранения полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника до 25,0 %, после 24 и 30 месяцев — отсутствие роста ( $p < 0,01$ ). В продукции, изготовленной по технологии, предусматривающей использование роторного аппарата, количество дрожжей в процессе хранения достоверно меньше, чем по классической ( $p < 0,01$ ): на начало хранения и через 12 месяцев соответственно в 1,4 и 3,7 раз, при этом микроорганизмы присутствовали только в продукции из свежего сырья. Количество исследуемых микроорганизмов в полуфабрикатах-пюре из свежих ягод в процессе хранения больше, чем из быстрозамороженных ( $p < 0,01$ ): на начало хранения и через 12 месяцев соответственно в 1,9 и 1,3 раз.

Не выявили значимых различий по изменению содержания мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов, плесневых грибов, дрожжей при хранении продукции, изготовленной из сортов ягод крыжовника Сенатор и Розовый 2 ( $p > 0,05$ ).

В полуфабрикатах-пюре из ягод крыжовника, вне зависимости от сорта и состояния сырья, технологии производства, не выявлены неспорообразующие микроорганизмы (бактерии группы кишечных палочек, рода *Salmonella*) ни на момент изготовления, ни в процессе последующего хранения.

В результате проведенных исследований установили отсутствие роста нормируемых ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» (Приложение 2, табл. 2, полные консервы группы «Г») микроорганизмов в процессе хранения исследуемых образцов полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника. При этом необходимо отметить, что технология изготовления полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника, предусматривающая использование роторного аппарата, более эффективна в уничтожении микроорганизмов, по сравнению с классической.

### Органолептическая оценка

Свежеизготовленные полуфабрикаты-пюре представляли собою однородную пюреобразную, текучую массу без частиц волокон, кожицы, семян, плодоножек и листьев, темно-бордового цвета, однородного по всей массе, характеризовались хорошо выраженным запахом и вкусом ягод крыжовника, прошедших тепловую обработку, сладко кислым (для ягод сорта Сенатор) или кисло-сладким (для ягод сорта Розовый 2) вкусом. В таблице 4 представлены результаты исследований органолептических показателей полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника в процессе хранения.

Из данных Таблицы 5 видно, что срок хранения оказывал влияние на изменения органолептических характеристик полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника, вне зависимости от сорта и состояния сырья, технологии изготовления, в среднем: внешний вид, текстура — сила влияния не менее 97,0% ( $p < 0,01$ ), цвет, запах, вкус и послевкусие — не менее 95,0% ( $p < 0,01$ ).

В процессе хранения продукции во внешнем виде отметили незначительное отделение жидкости, а цвет поверхностного слоя становился темнее — потери оценок за данные показатели после 12 месяцев составили в среднем 4,2% (Рисунок 5), увеличившись еще через 12 и 6 месяцев соответственно в среднем еще на 5,5 и 11,8% ( $p < 0,01$ ). Сохранность оценок за текстуру (становилась тягучей) после 12, 24 и 30 месяцев хранения продукции составила соответственно в среднем 96,5, 91,1 и 79,7% для текстуры (становилась тягучей), запах (слабее) — 95,0, 88,8 и 80,5% ( $p < 0,01$ ). В процессе хранения вкус и послевкусие продукции теряли свою гармоничность, что приводило к потерям оценок за данный

показатель — после 12, 24 и 30 месяцев составили соответственно в среднем 4,3, 8,4 и 19,0% ( $p < 0,01$ ).

Лучшим внешним видом в процессе хранения характеризовалась продукция, выработанная из сорта Розовый 2, а не сорта Сенатор — через 12, 24 и 30 месяцев хранения соответственно в 1,01, 1,05 и 1,05 раза соответственно ( $p < 0,01$ ). Аналогичная тенденция характерная для других органолептических показателей, лучше из сорта Розовый 2, по сравнению с сортом Сенатор — цвет, текстура, запах, вкус и послевкусие соответственно в среднем 1,04, 1,04, 1,05 и 1,06 раза ( $p < 0,01$ ). В процессе хранения лучше сохраняла свои органолептические характеристики продукция, выработанная из свежего, а не быстрозамороженного сырья, после 12, 24 и 30 месяцев хранения ( $p < 0,01$ ): внешний вид — соответственно в 1,04, 1,06 и 1,08 раза; цвет — 1,04, 1,07 и 1,10 раза; текстура — 1,04, 1,02 и 1,07 раза; запах — 1,03, 1,04 и 1,05 раза; вкус и послевкусие — 1,03, 1,04 и 1,07 раза. Продукция, изготовленная по технологии, предусматривающая использования оборудования с использованием роторного аппарата, характеризовалась лучшей сохранностью органолептических характеристик в процессе хранения, чем по классической ( $p < 0,01$ ) : внешний вид — соответственно в 1,06, 1,09 и 1,14 раза; цвет — 1,04, 1,05 и 1,13 раза; текстура — 1,05, 1,09 и 1,11 раза; запах — 1,05, 1,08 и 1,19 раза; вкус и послевкусие — 1,03, 1,04 и 1,14 раза.

### Согласованность полученных результатов с ранее опубликованными данными

Представленные выше результаты в целом согласуются с данными других авторов, изменения качественных характеристик пюре в процессе хранения обусловлены множеством факторов — сырьем, используемым методом обработки, видом упаковки, температурой хранения и т.д. Например: Yang с соавторами (2022) определили, что содержание растворимых сухих веществ в яблочно-клубнично-питахайевом пюре, полученным под высоким давлением (400 МПа, 10 мин или 500 МПа, 8 мин) или термической обработкой (90 °C, 2 мин), снижалось по истечении 20 суток хранения при температуре 4 °C в реторт-пакетах из-за разложения и окисления сахаров, пищевых волокон; Teribia с соавторами (2021) определили, что хранение (14 суток, 35 °C) термически обработанного (95 °C,

1 мин) пюре из замороженных ягод клубники оказывало существенное влияние на снижение количества сахарозы из-за ее гидролиза до фруктозы и глюкозы; Xu с соавторами (2016) выявили, что снижение количества титруемых кислот в процессе хранения (30 суток, 4°C) пюре из бананов, полученного под высоким давлением (500 МПа, 10 мин) или термической обработкой (90°C, 2 мин), обусловлено деградацией аскорбиновой кислоты в процессе хранения; Tian с соавторами (2023) определили, что изменения содержания пищевых волокон в процессе хранения яблочно-киви-морковного пюре после обработки (под высоким давлением при 400 МПа /2 мин или 500 МПа /2 мин или термической обработкой при 90°C /2 мин) и последующего хранения (24 суток, 4°C) обусловлены активностью пектинметилэстеразы, вызывающая трансформацию различных форм нутриентов; потери аскорбиновой кислоты в процессе хранения плодовых пюре, из-за активизации гидролитических ферментных систем и оксидоредуктаз, включая аскорбатоксидазу, зависят от множества факторов (сорта сырья, условий обработки продукции, продолжительности хранения и пр.), не только снижают их физиологическую ценность, но и представляют собою показатель окислительной порчи, то есть косвенный критерий определения срока годности продукции (Vu et al., 2022; Fernández-Sestelo et al., 2013); Li и Padilla-Zakour (2021) определили, что обработка высоким давлением (600 МПа, 3 мин, 5°C) пюре из винограда лучше обеспечивает, чем термическая (63°C, 3 мин), снижение микробных популяций в течение 5 месяцев хранения при температуре  $4 \pm 1^\circ\text{C}$ ; Kim A.N. с соавторами (2021) выявили замедление или отсутствие роста общего количества аэробных и анаэробных бактерий, плесневых грибов и дрожжей в клубничном пюре, полученном путем измельчения в вакууме и упакованного в герметичный контейнер в процессе хранения при температурах 5, 25 и 35 °C в течение 10 суток; ряд авторов установил, что изменения органолептических характеристик (внешнего вида, цвета, текстуры, запаха, вкуса) плодовых пюре обусловлены процессами, происходящими в продукции в процессе хранения — например, реакциями конденсации антоцианов с аскорбиновой кислотой, полимеризацией фенолов, трансформацией пищевых волокон, цвета, вкуса, запаха из-за активности пектинметилэстеразы, полифенолоксидазы и пероксидазы и пр. (Salazar-Orbea et al., 2023; Wani et al., 2021).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования подтвердили стабильность физико-химических, микробиологических и органолептических показателей полуфабрикатов-пюре из ягод крыжовника сортов Розовый 2 и Сенатор, полученных как по традиционной технологии, так и предусматривающей использование роторно-диспергирующего устройства при хранении в течение 30 месяцев в стеклянных банках, укупоренных металлическими крышками при температуре не выше 20°C, относительной влажности воздуха не более 75%, без доступа прямых солнечных лучей. При этом применение роторно-диспергирующего устройства, используемого при изготовлении продукции, повышает стабильность ее микробиологических и органолептических показателей. Таким образом, полуфабрикаты-пюре из ягод крыжовника могут использоваться при изготовлении разнообразной продукции (мороженого, соусов, кондитерских изделий и пр.), соответствующей современным тенденциям здорового образа жизни потребителей, поскольку при их изготовлении не используются пищевые добавки, а при хранении — особые условия. В этой связи дальнейшие исследования в рамках темы перспективны в направлении изучения влияния применения роторно-диспергирующего устройства на сохранность биологически активных веществ.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Голуб Ольга Валентиновна:** методология исследований; верификация данных; формальный анализ; проведение исследований; создание рукописи; визуализация данных.

**Мотовилов Олег Константинович:** концептуализация; методология; руководство исследованием.

**Мотовилова Наталья Владимировна:** проведение исследований; создание черновика рукописи.

**Давыденко Наталия Ивановна:** верификация, администрирование данных; визуализация данных; создание рукописи и ее редактирование.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Акимов, М. Ю., Бессонов, В. В., Коденцова, В. М., Эллер, К. И., Вржесинская, О. А., Бекетова, Н. А., Кошелева, О. В., Богачук, М. Н., Малинкин, А. Д., Макаренко, М. А., Шевякова, Л. В., Перова, И. Б., Рылина, Е. В., Макаров, В. Н., Жидехина, Т. В., Кольцов, В. А., Юшков, А. Н., Новоторцев, А. А., Брыксин, Д. М., & Хромов, Н. В. (2020). Биологическая ценность плодов и ягод российского производства. *Вопросы питания*, 89(4), 220–232. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10055>
- Akimov, M. Yu., Bessonov, V. V., Kodentsova, V. M., Eller, K. I., Vrzhesinskaya, O. A., Beketova, N., Kosheleva, O. V., Bogachuk, M. N., Malinkin, A. D., Makarenko, M. A., Shevyakova, L. V., Perova, I. B., Rylina, E. V., Makarov, V. N., Zhidakhina, T. V., Koltsov, V. A., Yushkov, A. N., Novotortsev, A. A., Bryksin, D. M., & Khromov, N. V. (2020). Biological value of fruits and berries of Russian production. *Problems of Nutrition*, 89(4), 220–232. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10055>
- Бурак, Л. Ч. (2021). Существующие способы обработки пищевых продуктов и их влияние на пищевую ценность и химический состав. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*, (3), 59–73. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-3-59-73>
- Burak, L. Ch. (2021). Existing food processing methods and their impact on nutritional value and chemical composition. *Technologies for the Food and Processing Industry of AIC-Healthy Food*, (3), 59–73. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2021-3-59-73>
- Глебова, С. Ю., Голуб, О. В., & Заворожина, Н. В. (2018). Разработка балльной шкалы органолептической оценки качества овощных соусов. *Пищевая промышленность*, (2), 20–23.
- Glebova, S. Yu., Golub, O. V., & Zavorokhina, N. V. (2018). Development of a scoring scale for the organoleptic evaluation of the quality of vegetable sauces. *Food Industry*, (2), 20–23. (In Russ.)
- Голуб, О. В., Kovalevskaia, I. N., Gaberman, T. S., & Romanovskaya, I. V. (2010). Разработка консервированной продукции из ягод крыжовника. *Техника и технология пищевых производств*, 18(3), 40–44.
- Golub, O. V., Kovalevskaia, I. N., Gaberman, T. S., & Romanovskaya, I. V. (2010). The development of technology of canned foods from gooseberry. *Food Processing: Techniques and Technology*, 18(3), 40–44. (In Russ.)
- Горлов, И. Ф., Сложенкина, М. И., Серова, О. П., & Казаринская, А. О. (2018). Разработка и исследование качества поликомпонентного творожного продукта. *Индустрия питания*, 3(3), 23–27.
- Gorlov, I. F., Slozhenkina, M. I., Serova, O. P., & Kazarinskaya, A. O. (2018). Quality Research and Development of the Polycomponent Cottage Cheese Product. *Food Industry*, 3(3), 23–27. (In Russ.)
- Дейнека, В. И., Олейниц, Е. Ю., Павлов, А. А., Михеев, А. Ю., Шелепова, О. В., Волкова, О. Д., & Хлебникова, Е. И. (2020). Определение антоцианов плодов некоторых растений рода Ribes методами обращенно-фазовой ВЭЖХ и гидрофильной хроматографии. *Химия растительного сырья*, (1), 81–88. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020016331>
- Deineka, V. I., Oleynits, E. Yu., Pavlov, A. A., Mikheev, A. Yu., Shelepova, O. V., Volkova, O. D., & Khlebnikova, E. I. (2020). Determination of anthocyanins of fruits of some plants of the genus ribes by reversed-phase HPLC and Hydrophilic Interaction Chromatography (HILIC). *Chemistry of Plant Raw Material*, (1), 81–88. (In Russ.) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2020016331>
- Долматова, О. И. (2021). Изучение реологических свойств структурированного молокосодержащего продукта. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 83(3–89), 168–173. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-3-168-173>
- Dolmatova, O. I. (2021). Study of the rheological properties of a structured milk-containing product. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(3–89), 168–173. (In Russ.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-3-168-173>
- Жбанова, Е. В., Жидехина, Т. В., Акимов, М. Ю., Родюкова, О. С., Хромов, Н. В., & Гурьева, И. В. (2021). Плоды сортов ягодных и нетрадиционных садовых культур, выращенных в Черноземье, — ценные источники незаменимых микронутриентов. *Пищевая промышленность*, (3), 8–11. <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0020>
- Zhbanova, E. V., Zhidakhina, T. V., Akimov, M. Yu., Rodyukova, O. S., Khromov, N. V., & Guryeva, I. V. (2021). The fruits varieties of berry-like and nontraditional horticultural crops grown in Black Soil zone are the valuable sources of indispensable micronutrients. *Food Industry*, (3), 8–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0020>
- Зубова, Е. В., & Залетова, Е. В. (2023). Биологическая ценность фруктовых купажных вин на основе ягод крыжовника и земляники садовой. *Вестник Нижегородского государственного агротехнологического университета*, 38(2), 59–64.
- Zubova, E. V., & Zaletova, E. V. (2023). Biological value of fruit blended wines based on gooseberries and garden strawberries. *Vestnik Nižegorodskoj gosudarstvennoj sel'skohozajstvennoj akademii*, 38(2), 59–64. (In Russ.)
- Иванец, Г. Е., Светкина, Е. А., & Потапов, А. Н. (2012). Использование растительного сырья при производстве аэрированных продуктов на молочной основе. *Техника и технология пищевых производств*, 25(2), 42Аяя–49.
- Ivanets, G. E., Svetkina, E. A., & Potapov, A. N. (2012). Using of plant raw material for manufacture of aerated milk-based products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 25(2), 42A–49. (In Russ.)

- Кулагина, К. А., & Назарова, Н. Е. (2020). Технология производства плодово-ягодных вин с применением растительного подсластителя. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*, (4), 22–27.
- Kulagina, K. A., & Nazarova, N. E. (2020). Technology for the production of fruit and berry wines using a vegetable sweetener. *Technologies for the Food and Processing Industry of AIC-Healthy Food*, (4), 22–27. (In Russ.)
- Левгерова, Н. С., Салина, Е. С., & Сидорова, И. А. (2020). Новые сорта плодовых и ягодных культур селекции ВНИИСПК для производства натуральных продуктов питания. *Вестник Российской сельскохозяйственной науки*, (4), 33–37. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/4/33-37>
- Levgerova, N. S., Salina, E. S., & Sidorova, I. A. (2020). New varieties of fruit and berries in selection of all-russian research institute for natural food production. *Vestnik of Russian Agricultural Science*, (4), 33–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/4/33-37>
- Лимонникова, С. Г., & Величко, Н. А. (2021). Разработка новых видов пресервов с соусом из плодов крыжовника. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 169(4), 127–132. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-127-132>
- Limonnikova, S. G., & Velichko, N. A. (2021). Development of new types of preserves with gooseberry sauce. *Vestnik Krasnoyarskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 169(4), 127–132. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-4-127-132>
- Маслов, А. В., Мингалеева, З. Ш., Ямашев, Т. А., & Шибаева, Н. Ф. (2022). Изучение влияния комплексной растительной добавки на свойства мучных смесей и пшеничного теста. *Техника и технология пищевых производств*, 52(3), 511–525. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385>
- Maslov, A. V., Mingaleeva, Z. Sh., Yamashev, T. A., & Shibaeva, N. F. (2022). Effect of a complex plant additive on flour mixes and wheat dough. *Food processing: Techniques and technology*. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(3), 511–525. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2385>
- Попова, Е. И., Хромов, Н. В., Родюков, Е. Ю., & Лисова, Е. Н. (2023). Хозяйственно-биологическая оценка плодов крыжовника ЦЧР. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*, 73(2), 38–41.
- Popova, E. I., Khromov, N. V., Rodyukov, E. Yu., & Lisova, E. N. (2023). Economic and biological assessment of gooseberry fruits of the Central Black Earth Region. *Vestnik Mičurinskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 73(2), 38–41. (In Russ.)
- Посокина, Н. Е., & Захарова, А. И. (2023). Современные нетермические способы обработки растительного сырья, применяемые для увеличения его хранимоспособности. *Пищевые системы*, 6(1), 4–10. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-4-10>
- Posokina, N. E., & Zakharova, A. I. (2023). Modern non-thermal methods of processing plant raw materials used to increase its storage capacity. *Food Systems*, 6(1), 4–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-4-10>
- Протасова, Д. Н., Акимов, М. Ю., Ильинский, А. С., Колыцов, В. А., & Соломатин, Н. И. (2023). Математическая модель планирования плодово-ягодного пюре при различных способах обработки сырья. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания*, (4), 85–91. <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2023-4-85-91>
- Protasova, D. N., Akimov, M. Yu., Ilyinsky, A. S., Koltsov, V. A., & Solomatin, N. I. (2023). Mathematical model of planning fruit and berry puree with various methods of raw material processing. *Technologies for the Food and Processing Industry of AIC-Healthy Food*, (4), 85–91. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/2311-6447-2023-4-85-91>
- Рогачев, В. И. (Ред.) (1974). *Справочник по производству консервов* (том 4. Консервы из растительного сырья). Москва.
- Rogachev, V. I. (Ed.). (1974). *Handbook of canned food production* (Vol. 4. Canned plant raw materials). Moscow. (In Russ.)
- Тиунов, В. М., & Вяткин, А. В. (2022). Исследование антиоксидантных показателей плодово-ягодного сырья произрастающих в Свердловской области. *Современная наука и инновации*, 38(2), 124–129. <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2022.2.13>
- Tiunov, V. M., & Vyatkin, A. V. (2022). Study of antioxidant indicators of fruit and berry raw materials grown in the Sverdlovsk region. *Modern Science and Innovation*, 38(2), 124–129. (In Russ.) <https://doi.org/10.37493/2307-910X.2022.2.13>
- Bainotti, M. B., Colás-Medà, P., Viñas, I., Garza, S., Alegre, I. (2024). The survival of *Salmonella enterica* strains in ready-to-eat fruit purees under different storage temperatures. *Beverages*, 10(1), 17. <https://doi.org/10.3390/beverages10010017>
- Bu, Z., Luo, W., Wei, J., Peng, J., Wu, J., Xu, Y., Yu, Y., Li, L. (2022). Impacts of thermal processing, high pressure, and CO<sub>2</sub>-assisted high pressure on quality characteristics and shelf life of durian fruit puree. *Foods*, 11(17), 2717. <https://doi.org/10.3390/foods11172717>
- Erbil, N., Murathan, Z. T., Arslan, M., & İlçim, A. (2021). Bektası Üzümü (*Ribes uva-crispa* L.) ve Dağ Frenk Üzümünün (*Ribes alpinum* L.) bazı biyokimyasal içerik ve biyolojik aktiviteleri yönünden karşılaştırılması [Gooseberry (*Ribes uvacrispa* L.) and Mountain Currant (*Ribes alpinum* L.) [Some biochemical content and biological comparison of activities in terms of]. *Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 18(2), 197–203. <https://doi.org/10.25308/aduziraat.907968>
- Fernández-Sestelo, A., De Saá, R. S., Pérez-Lamela, C., Torrado Agrasar, A., Rúa, M. L., & Pastrana-Castro, L. (2013). Overall quality properties in pressurized kiwi puree: Microbial, physicochemical, nutritive and sensory tests during refrigerated storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 64–72. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ifset.2013.06.009>

- Grobelna, A., Kalisz, S., & Kieliszek, M. (2019). Effect of processing methods and storage time on the content of bioactive compounds in blue honeysuckle berry purees. *Agronomy*, 9(12), 860. <https://doi.org/10.3390/agronomy9120860>
- Kendir, G., Süntar, I., Çeribaşı, A. O., Köroğlu, A. (2019). Activity evaluation on Ribes species, traditionally used to speed up healing of wounds: With special focus on ribes nigrum. *Journal of Ethnopharmacology*, 237, 141–148. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2019.03.038>
- Kim, A. N., Hu, W. S., Lee, K.-Y., Koo, O.-K., Kerr, W. L., & Choi, S. G. (2021). Effect of vacuum grinding and storage under oxygen free condition on antioxidant activity and bacterial communities of strawberry puree. *LWT*, 137, 110495. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110495>
- Li, Y., & Padilla-Zakour, O. I. (2021). High pressure processing vs. thermal pasteurization of whole concord grape puree: Effect on nutritional value, quality parameters and refrigerated shelf life. *Foods*, 10(11), 2608. <https://doi.org/10.3390/foods10112608>
- Pérez-Lamela, C., Franco, I., & Falqué, E. (2021). Impact of high-pressure processing on antioxidant activity during storage of fruits and fruit products: A review. *Molecules*, 26(17), 5265. <https://doi.org/10.3390/molecules26175265>
- Pino-Hernández, E., Alves, M., Moreira, N., Lima, V., Pinto, C. A., & Saraiva, J. A. (2024). Effects of Equivalent processing conditions for microbial inactivation by innovative nonthermal technologies on the safety, quality, and shelf-life of reineta parda apple puree. *Applied Sciences*, 14(7), 3088. <https://doi.org/10.3390/app14073088>
- Pluta, S. (2018). Gooseberry — Ribes uva-crispa, sin. R. grossularia L. *Exotic fruits*, 211–218. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00027-7>
- Saarniit, K., Lang, H., Kuldjärv, R., Laaksonen, O., & Rosenvall, S. (2023). The stability of phenolic compounds in fruit, berry, and vegetable purees based on accelerated shelf-life testing methodology. *Foods*, 12(9), 1777. <https://doi.org/10.3390/foods12091777>
- Salazar-Orbea, G. L., García-Villalba, R., Bernal, M. J., Hernández-Jiménez, A., Egea, J. A., Tomás-Barberán, F. A., & Sánchez-Siles, L. M. (2023). Effect of storage conditions on the stability of polyphenols of apple and strawberry purees produced at industrial scale by different processing techniques. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(5), 2541–2553. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c07828>
- Teribia, N., Buvé, C., Bonerz, D., Aschoff, J., Hendrickx, M., & Loey, A. V. (2021). Effect of cultivar, pasteurization and storage on the volatile and taste compounds of strawberry puree. *LWT*, 150, 112007. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112007>
- Tian, X., Yang, Y., Zhang, W., & Wang, Y. (2023). Effect of high hydrostatic pressure and thermal processing on the shelf life and quality attributes of apple-kiwi-carrot puree blend. *Journal of Food Quality*. <https://doi.org/10.1155/2023/1631285>
- Vidigal, I. G., Melo, M. P., Da Rós, P. C. M., Carvalho, A. K. F., Alencar, S. M., & Ferreira, A. L. G. (2023). Rheological and physical properties affected by the thermal processing of fruit: A bibliometric analysis. *Processes*, 11(10), 2874. <https://doi.org/10.3390/pr1102874>
- Wani, S., Bakshi, R. A., Khan, Z. S., Fayaz, S., Muzaffar, K., & Dar, B. N. (2021). Physicochemical, sensorial and rheological characteristics of puree developed from Kashmiri peaches: Influence of sugar, KMS and storage conditions. *Heliyon*, 7(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07781>
- Xu, Z., Wang, Y., Ren, P., Ni, Y., & Liao, X. (2016). Quality of banana puree during storage: A comparison of high pressure processing and thermal pasteurization methods. *Food Bioprocess Technology*, (9), 407–420. <https://doi.org/10.1007/s11947-015-1635-4>
- Yang, X., Ding, H., Luo, S., Sun, X., Wang, N., & Wang, Y. (2022). Comparison of high hydrostatic pressure and thermal processing on microorganisms and quality of anthocyanin-rich fruit puree. *Frontiers in Food Science and Technology*, (2), 911283. <https://doi.org/10.3389/frfst.2022.911283>

# Разработка технологии мучных кондитерских изделий, обогащенных эссенциальными нутриентами

Л. З. Габдукаева

Казанский национальный  
исследовательский технологический  
университет, г. Казань, Республика  
Татарстан

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Лилия Зуфаровна Габдукаева  
E-mail: carramba@bk.ru

## ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования  
доступны по запросу  
у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Габдукаева, Л. З. (2024). Разработка технологии мучных кондитерских изделий, обогащенных эссенциальными нутриентами. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(2), 116-132.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.457>

ПОСТУПИЛА: 17.08.2023

ДОРРАБОТАНА: 11.06.2024

ПРИНЯТА: 15.06.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии  
конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Обогащение мучных кондитерских изделий натуральными продуктами имеет преимущество перед добавками, полученными путем химического синтеза. В состав этих продуктов входят белковые вещества, витамины, минеральные соли и другие ценные пищевые компоненты, причем, находятся они в естественных соотношениях, в виде природных соединений, в той форме, которая лучше усваивается организмом.

**Цель:** Разработка технологии производства мучного кондитерского изделия на основе нетрадиционных видов растительного сырья (масло из виноградных косточек, тыквенное и облепиховое масло, мука из виноградных косточек и зеленой гречки, кукурузная мука) для расширения ассортимента продуктов детского питания и определение его качественных показателей.

**Материалы и методы:** Объекты исследования – образцы кексов с использованием в качестве рецептурных компонентов различных видов растительных масел (масло из виноградных косточек, тыквенное и облепиховое масло) и нетрадиционных видов муки (мука из виноградных косточек и зеленой гречки, кукурузная мука). Контроль качества готовых изделий осуществляли по органолептическим и физико-химическим показателям. Определение органолептических показателей готовых изделий проводили по ГОСТ 15052-2014, ГОСТ 5897-90. Массовую долю влаги определяли по ГОСТ 5900-2014, щелочность – по ГОСТ 5898-2022. Расчет пищевой и энергетической ценности готовых изделий производили по данным справочника «Химический состав российских пищевых продуктов», степень удовлетворения физиологических потребностей детского организма в данных веществах – согласно Методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253-21 .

**Результаты:** Разработаны рецептуры кексов с применением нетрадиционных видов муки и растительных масел, изучены потребительские свойства изделий. При исследовании органолептических свойств изделий установлено, что готовые изделия характеризовались специфическим цветом, вкусом и ароматом. Образец №1 с добавлением муки из виноградных косточек характеризовался приятным ароматом шоколада и шоколадным послевкусием, наличием выпуклой верхней поверхности с характерными трещинами. Образцы №2 и №3 характеризовались мягкой, более влажной консистенцией, что связано с видом используемой муки и жирового сырья. По физико-химическим показателям качества изделия соответствовали значениям нормативных документов. На основе полученных данных установлено, что мучные кондитерские изделия, изготовленные с применением нетрадиционных видов сырья, обладают более высокой пищевой ценностью по сравнению с изделием по классической рецептуре. Высокое содержание минеральных компонентов, витаминов группы В, полиненасыщенных жирных кислот в выбранных видах сырья, позволяет получать изделия с выраженным биологически активными свойствами. Образец №1 в наибольшей степени по сравнению с другими образцами удовлетворяет физиологические потребности детского организма в минорных компонентах: в витаминах Е и К удовлетворяет суточную потребность полностью, в пищевых волокнах на 62-83% и потребность в полиненасыщенных жирных кислотах на 9-10%. Данный образец богат минеральными веществами, такими как калий, кальций, магний, фосфор и железо.

**Выводы:** Доказана перспективность использования выбранных видов муки, а также растительных масел с целью улучшения жирнокислотного, минерального и витаминного состава мучных кондитерских изделий. Включение разработанных изделий в рацион детей, позволит улучшить пищевой статус, оптимизировать рацион и расширить ассортимент специализированных продуктов питания.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

мучное кондитерское изделие; нетрадиционные виды муки; растительные масла; детское питание; пищевой статус; рецептура; потребительские характеристики

# Development of Technology for Flour Confectionery Products Enriched with Essential Nutrients

Kazan National Research Technological University, Kazan, Republic of Tatarstan

**CORRESPONDENCE:**

Liliya Z. Gabdukaeva

E-mail: carramba@bk.ru

**DATA AVAILABILITY:**

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

**FOR CITATIONS:**

Gabdukaeva, L. Z. (2024). Development of technology for flour confectionery products enriched with essential nutrients. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 116-132.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.457>

**RECEIVED:** 17.08.2023

**REVISED:** 11.06.2024

**ACCEPTED:** 15.06.2024

**PUBLISHED:** 30.06.2024

**DECLARATION OF COMPETING**

**INTEREST:** none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** Enrichment of flour confectionery products with natural ingredients has advantages over additives obtained through chemical synthesis. These products contain proteins, vitamins, mineral salts, and other valuable food components in natural ratios, in forms that are better absorbed by the body.

**Purpose:** To develop a technology for producing flour confectionery products based on unconventional types of plant raw materials (grape seed oil, pumpkin oil, sea buckthorn oil, grape seed flour, green buckwheat flour, corn flour) to expand the range of baby food products and determine their quality indicators.

**Materials and Methods:** The study focuses on the samples of cakes using various types of plant oils (grape seed oil, pumpkin oil, sea buckthorn oil) and unconventional types of flour (grape seed flour, green buckwheat flour, corn flour) as recipe components. The quality control of the finished products was carried out according to organoleptic and physicochemical indicators. The determination of organoleptic indicators of the finished products was conducted according to GOST 15052-2014, GOST 5897-90. The moisture content was determined according to GOST 5900-2014, and alkalinity according to GOST 5898-2022. The calculation of the nutritional and energy value of the finished products was based on the data from the «Chemical Composition of Russian Food Products» handbook. The degree of meeting the physiological needs of children in these substances was estimated according to the Methodical Recommendations MR 2.3.1.0253-21.

**Results:** Recipes for cakes using unconventional types of flour and plant oils were developed, and the consumer properties of the products were studied. The study of the organoleptic properties of the products showed that the finished products were characterized by a specific color, taste, and aroma. Sample No. 1 with the addition of grape seed flour was characterized by a pleasant chocolate aroma and aftertaste, with a convex top surface with characteristic cracks. Samples No. 2 and No. 3 had a soft, more moist consistency due to the type of flour and fat raw materials used. According to physicochemical quality indicators, the products met the values of regulatory documents. Based on the obtained data, it was found out that flour confectionery products made with unconventional raw materials have higher nutritional value compared to products made with traditional recipes. The high content of mineral components, B vitamins, and polyunsaturated fatty acids in the selected types of raw materials allows for the production of products with pronounced biologically active properties. Sample No. 1, compared to other samples, meets the physiological needs of children's bodies for minor components the most: it fully meets the daily requirement for vitamins E and K, 62-83% for dietary fibers, and 9-10% for polyunsaturated fatty acids. This sample is rich in minerals such as potassium, calcium, magnesium, phosphorus, and iron.

**Conclusions:** The potential of using selected types of flour and plant oils to improve the fatty acid, mineral, and vitamin composition of flour confectionery products has been proven. Uncorporation of the developed products in children's diets will improve nutritional status, optimize the diet, and expand the range of specialized food products.

## KEYWORDS

flour confectionery product; unconventional types of flour; plant oils; baby food; nutritional status; recipe; consumer characteristics

## ВВЕДЕНИЕ

Нутриентный состав, безопасность и высокие сенсорные характеристики потребительских товаров являются ключевыми параметрами для потребителей при выборе продуктов питания. Рост спроса на функциональные продукты питания благотворно влияет на здоровье потребителей (Мистенева и соавт., 2019; Габдукаева & Решетник, 2019; Рензяева & Дмитриева., 2009; Решетник и соавт., 2016; Меренкова соавт., 2021); Sergieva et al., 2019). Как результат, разработка инновационных продуктов питания с высокой пищевой ценностью приобретает все большее значение (Решетник и соавт., 2016; Попов и соавт., 2021; Мистенева и соавт., 2019; Bailey et al., 2019). Кондитерская промышленность является динамично развивающейся отраслью, активно расширяющей ассортимент вырабатываемых изделий вслед за новейшими исследованиями в сфере функционального питания. Мучные кондитерские изделия не входят в перечень продуктов первой необходимости, однако являются востребованными для значительного количества потребителей и особенно детей (Решетник и соавт., 2016; Мистенева и соавт., 2019).

Школьный возраст является ключевым периодом развития организма человека, в котором завершается формирование скелета и скелетной мускулатуры, происходит резкая гормональная перестройка, лежащая в основе полового созревания, возникают качественные изменения в нервно-психической сфере, связанные с процессом обучения. Такая высокая скорость роста требует постоянного поступления с пищей достаточного количества пластического материала и прежде всего белка, полиненасыщенных жирных кислот, антиоксидантов, минеральных солей и витаминов (Решетник и соавт., 2016; Попов и соавт., 2021; Мистенева и соавт., 2019).

Школьный период можно условно разделить на три возрастные группы — 7–11 лет, 11–14 лет, 14–18 лет. Недостаточное или несбалансированное питание в младшем школьном возрасте приводит к отставанию в физическом и психическом развитии, которые, по мнению специалистов, практически невозможно скорректировать в дальнейшем (Hieu et al., 2012; Bailey et al., 2019; Мистенева и соавт., 2019). Питание детей подросткового возраста имеет свои особенности. В средней школе начинается поло-

вое созревание, которому предшествует препубертатный скачок роста. Достаточное поступление белков, необходимых для формирования новых структурных компонентов организма приобретает особое значение. Нарушение питания в этот период может стать причиной хронических заболеваний (Hieu et al., 2012; Bailey et al., 2019; Мистенева и соавт., 2019).

При производстве продуктов детского питания важно учитывать оптимальное сочетание питательных веществ и безопасность используемых ингредиентов. Также необходимо проводить строгий контроль качества на всех этапах производства. Продукция, предназначенная для детей, должна отвечать физиологическим потребностям ребенка и учитывать особенности детского организма.

В настоящее время приоритетной задачей в кондитерской отрасли является разработка технологий мучных кондитерских изделий для различных категорий населения, в том числе и для детей младшего и среднего школьного возраста с улучшенным составом, повышенной пищевой и биологической ценностью, а также уменьшенной энергетической ценностью (Мистенева и соавт., 2019; Габдукаева & Решетник, 2019; Рензяева & Дмитриева., 2009; Решетник и соавт., 2016; Меренкова соавт., 2021).

Решить поставленную задачу возможно путем разработки новых оригинальных рецептур кондитерских изделий с использованием нетрадиционных пищевых ингредиентов. Активно ведутся работы по изучению возможности применения плодово-ягодного (Алексеенко и соавт., 2019; Иванова и соавт., 2016; Padhi et al., 2022), овощного сырья и продуктов их переработки (Иванова и соавт., 2016), нетрадиционных видов муки (Попов и соавт., 2021; Габдукаева & Решетник, 2019; Меренкова соавт., 2021; Козубаева & Кузьмина, 2022; Aly et al., 2021; Brites et al., 2022; Hager et al., 2012; Troilo et al., 2022), масленичных культур (Габдукаева & Решетник, 2019; Егорова и соавт., 2014; Рензяева & Дмитриева., 2009), белоксодержащего сырья (Бугаец и соавт., 2001).

Целью данных исследований явилось изучение возможности использования нетрадиционных видов растительного сырья в технологии производства мучного кондитерского изделия для расширения ассортимента продуктов детского питания,

исследование влияния выбранных компонентов на качественные характеристики изделий, разработка рецептур кексов с оптимальным соотношением сырья, анализ потребительских характеристик и пищевой ценности разработанных изделий.

## ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

Основным ингредиентом для изготовления мучных кондитерских изделий является мука. В подавляющем большинстве рецептур используется пшеничная мука высшего сорта. Высший сорт пшеничной муки считается обедненным пищевыми волокнами вследствие того, что эта мука изготавливается из центральной части зерна, которая содержит в основном крахмал и клейковину. (Попов и соавт., 2021; Aly et al., 2021; Hager et al., 2012).

С целью обогащения мучных кондитерских изделий эссенциальными нутриентами используются нетрадиционные виды муки. Ценность использования различных видов муки обусловлена высоким содержанием в них растительных белков, пищевых волокон, а также сбалансированным составом минеральных веществ (Меренкова и соавт., 2021; Sergieva et al., 2019; Hager et al., 2012; Difonzo et al., 2023; Oprea et al., 2022).

### Мука из виноградной косточки

Для получения муки виноградные косточки подвергаются процессу сушки и измельчения. Мука из виноградных косточек является побочным продуктом при производстве вина и масла из винограда, поэтому производители в настоящее время стали выпускать ее в большем объеме с целью достижения безотходности. Спрос на данную муку повышается благодаря не только ее доступности, но и полезным свойствам.

Главное достоинство муки из виноградной косточки состоит в большом содержании пищевых волокон и широком перечне важнейших минеральных веществ, которыми также богата данная мука. Среди макро- и микроэлементов можно выделить фосфор, кальций, медь, железо, магний, марганец и цинк. Также данная мука богата витаминами С, РР и витаминами группы В, в частности  $B_1$  и  $B_2$ . Содерж-

жение в муке из виноградной косточки сильнейших антиоксидантов — биофлавоноидов делают ее еще более привлекательной для производителей и потребителей. Биофлавоноиды играют важную роль в реакциях окисления, так как выполняют функцию контроля ее протекания, а также снижают риск развития раковых опухолей. Химический состав свидетельствует о высоком содержании белка и пониженной калорийности муки из виноградной косточки (Меренкова и соавт., 2021; Troilo et al., 2021, 2022; Bordiga et al., 2019; Lu et al., 2012; Difonzo et al., 2023; Oprea et al., 2022).

### Кукурузная мука

Кукурузная мука считается ценным сырьем для изготовления безглютеновых продуктов, предназначенных для людей, больных целиакией (Попов и соавт., 2021; Решетник и соавт., 2016). Производство кукурузной муки схоже с производством пшеничной муки. Сначала кукуруза подвергается очистке от непригодных для питания частей, после чего удаляются механические примеси и зерно подвергают гидротермической обработке. После такой обработки зерно кукурузы лучше подвергается измельчению. Следующей стадией является сушка обработанного зерна, а затем его непосредственное измельчение, после которого муку просеивают и отправляют более крупную фракцию на повторный помол.

По своему минеральному составу кукурузная мука богата кальцием, магнием, фосфором, калием, натрием и железом. Данная мука отличается от пшеничной муки повышенным содержанием сахара, в ее состав также входят витамины группы В ( $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_6$ ), а также витамины Е и РР (Renzyaeva et al., 2022; Габдукаева & Решетник, 2019; Sergieva et al., 2019; Hager et al., 2012).

### Гречневая мука

Вследствие того, что при производстве гречневой муки отсутствует стадия удаления оболочек, мука из зеленой гречки имеет в своем составе повышенное содержание важнейших макро- и микроэлементов, таких как калий, кальций, кремний, магний, натрий, сера, фосфор, железо, марганец и др. Мука из зеленой гречки является ценным

источником витаминов A, E, PP, а также витаминов группы B, среди которых можно выделить B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, B<sub>6</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>12</sub>.

Мука из зеленой гречки отличается наличием всех незаменимых аминокислот, что является редкостью для сырья растительного происхождения. Мука из зеленой гречки богата также антиоксидантами, клетчаткой, флавоноидами и др. ценными веществами. Повышенное содержание вышеуперечисленных веществ обеспечивает положительное влияние данной муки на сердечно-сосудистую, нервную и репродуктивную систему, систему кровообращения и обменные процессы (Huda et al., 2021; Brites et al., 2022; Мистенева и соавт., 2019; Hager et al., 2012;).

## Жировые продукты

Одним из основных ингредиентов в составе мучных кондитерских изделий по количественному содержанию наряду с мукой и сахаром является жировая составляющая. Жировые продукты играют важную роль в структурообразовании теста и готового изделия, а также в формировании механических и реологических свойств готового изделия, в сохранности свойств готового изделия с течением времени (Рензяева & Дмитриева., 2009).

Наиболее часто в производстве мучных кондитерских изделий используют твердые и полутвердые жиры: маргарин, сливочное масло, кондитерские жиры. Маргарин и кондитерские жиры используют чаще из-за их дешевизны, но они содержат в большей степени насыщенные жирные кислоты, оказывающие негативное влияние на здоровье человека (Tucker et al., 2005; Mattos et al., 2017).

Растительные масла по жирнокислотному составу более полезные, полиненасыщенные жирные кислоты в них превосходят по содержанию насыщенные жирные кислоты. Существует серьезная доказательная база, подтверждающая снижение риска сердечно-сосудистых заболеваний при замене насыщенных жирных кислот в продуктах питания полиненасыщенными с достаточным количеством омега-3-полиненасыщенной жирной кислоты и мононенасыщенными жирными кислотами (Мистенева и соавт., 2019; Bordiga et al., 2019; Mattos et al., 2017; Tucker et al., 2005). Пищевая ценность жиров

зависит от содержания в их составе насыщенных и ненасыщенных жирных кислот, их соотношения, присутствия жирорастворимых витаминов и других биологически активных компонентов (Юрченко & Канюка, 2019; Рензяева & Дмитриева, 2009).

## Масло виноградных косточек

Масло из виноградных косточек отличается повышенным содержанием полиненасыщенных жирных кислот, жирорастворимых витаминов, минеральных веществ, хлорофилла, дубильных веществ и др. (Lu et al., 2012; Tucker et al., 2005). Из ненасыщенных кислот особое внимание к себе привлекает линолевая кислота — омега-6, ее содержится около 70% от общего количества жирных кислот. Также в данном масле содержится мононенасыщенная кислота омега-9 и пальмитиновая, пальмитолеиновая, стеариновая, омега-3 кислоты в незначительном количестве (Bordiga et al., 2019; Mattos et al., 2017). Высокое содержание витаминов Е, С, А и флавоноидов обеспечивает антиоксидантную активность данного масла. Для масла из виноградных косточек характерно также бактерицидное действие благодаря содержанию хлорофилла (Li et al., 2011; Troilo et al., 2021).

## Тыквенное масло

Тыквенное масло отличается высоким содержанием олеиновой и линолевой кислоты. Данное масло содержит большое количество витамина А и Е. Благодаря небольшому содержанию влаги в тыквенном масле присутствуют водорастворимые витамины С, В, жирорастворимый витамин K, а также витаминоподобное соединение — карнитин (Lu et al., 2012; Tucker et al., 2005). Тыквенное масло, как и облепиховое, содержит большое количество каротиноидов, обладающих антиоксидантными свойствами. Имеет место и повышенное содержание фосфолипидов, благотворно влияющих на улучшение и даже восстановление нормального функционирования печени. Тыквенное масло также, как и масло из виноградных косточек, обладает бактерицидным эффектом, благодаря высокому содержанию хлорофилла. Повышенной концентрацией данного пигмента также объясняется и характерный зеленый цвет тыквенного масла (Юрченко & Канюка, 2019; Li et al., 2011).

## Облепиховое масло

Главной особенностью облепихового является высокое содержание каротиноидов, которые также обеспечивают характерный оранжевый цвет данного масла. Польза от этой особенности облепихового масла объясняется тем, что в организме человека из каротиноидов синтезируется витамин А, обладающий рядом важнейших функций в формировании иммунитета, росте, функционировании органов зрения и пр. (Юрченко & Канюка, 2019; Рензяева & Дмитриева., 2009; Li et al., 2011; Lu et al., 2012; Olas et al., 2018; Tucker et al., 2005). Присутствуют в данном масле и другие витамины, например, витамин Е содержится в большом количестве, также есть витамины С, К, В. Облепиховое масло характеризуется высоким содержанием полиненасыщенных жирных кислот, среди которых можно выделить олеиновую, линолевую и линоленовую (Olas et al., 2018; Li et al., 2011; Tucker et al., 2005; Lu et al., 2012).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Введение

Кексы относятся к мучным кондитерским изделиям и пользуются большой популярностью среди потребителей.

Согласно ГОСТ 15052–2014, кекс — мучное кондитерское изделие объемной формы на основе муки, сахара, жира и яйцепродуктов с крупными и (или) мелкими добавлениями (шукаты, орехи, изюм, шоколадная крошка и т.д.) или без них, с начинкой или без нее, с отделкой поверхности или без нее, массовой долей сахара не менее 9 %, массовой долей жира не менее 5 %, массовой долей влаги не более 30 %.

### Объекты исследования и рецептура

В ходе проведения эксперимента была разработана рецептура и технология приготовления кексов. За основу образцов была взята рецептура кекса «Столичного» по Сборнику рецептур мучных кондитер-

ских и булочных изделий для предприятий общественного питания<sup>1</sup>.

Контрольный и экспериментальные образцы кексов были изготовлены без добавления изюма и с полной заменой сливочного масла на растительные, в экспериментальных образцах изделий также осуществили полную или частичную замену пшеничной на нетрадиционные виды муки.

Для изготовления экспериментальных образцов кексов в качестве продуктов-обогатителей использовались различные виды муки и растительные масла: (1) мука виноградной косточки — СТО 21318887–005–2013; (2) мука из зеленой гречки — ГОСТ 5550–2021; (3) кукурузная мука — ТУ 10.61.22–098–47378026–2020; (4) масло виноградной косточки (производство Италия) — ТР ТС 024/2011; (5) масло тыквенное — ТУ 9141–005–70834238–06; (6) масло облепиховое — ТУ 9154–009–20680882–05.

Для приготовления образцов масло взбивали в течение 7–10 мин, добавляли сахар песок и взбивали еще 5–7 мин, постепенно вливая меланж. К взбитой массе добавляли ванильный сахар, разрыхлитель и соль, тщательно перемешивали, добавляли муку и замешивали тесто.

Тесто раскладывали в формы, предварительно смазанные маслом, и выпекали при температуре 180–200 °C в течение 15–20 мин<sup>1</sup>.

В результате экспериментальных работ были приготовлены образцы изделий с различной концентрацией внесения рецептурных ингредиентов. В таблице 1 приведены рецептуры образцов кексов с оптимальным соотношением сырья, при котором получены изделия с более лучшими органолептическими характеристиками.

### Методы и процедура исследования

Определение органолептических показателей готовых изделий проводила дегустационная комиссия в составе 5 человек — по ГОСТ 15052–2014, ГОСТ 5897–90. Определены такие показатели, как вкус и запах, вид в изломе, состояние поверхности, а также структура и форма.

<sup>1</sup> Лапшина, В.Т., Фонарева, Г.С., & Ахиба, С.Л. (2000). Сборник рецептур на торты, пирожные, кексы, рулеты, печенье, пряники, ковриjки и сдобные булочные изделия. М.: Хлебпродинформ.

Общую оценку качества разработанных изделий рассчитывали, как среднее арифметическое значение оценок всех дегустаторов, принимавших участие в оценке, с точностью до первого знака после запятой.

Внешний вид готового изделия — это совокупная характеристика изделия, оцениваемая экспертом (дегустатором) с помощью органов зрения. Данный показатель включает в себя ряд видимых параметров, таких как форма, вид на разрезе. Внешний вид является одной из наиболее весомых характеристик. Именно этот показатель качества чаще всего стараются приблизить к оригинальному при фальсификации продукции.

Что касается состояния поверхности, то под данным показателем следует понимать характеристику формы поверхности (выпуклая, плоская и т.д.), ее гладкости или выпуклости, наличие рисунка и его четкость, наличие трещин, особенности отделки изделия, при наличии.

Форма изделия может быть различной: круглой, прямоугольной, квадратной, овальной и фигурной. Для каждого вида кондитерских изделий регламентируется определенная форма. Важно, что форма для любого изделия должна быть правильной, с ровными краями.

Разнообразие цветов мучных кондитерских изделий определяется наличием красящих веществ исходного сырья, преобразованиями веществ в процессе их термической обработки, присутствием натуральных и искусственных пищевых красителей в составе изделия.

После зрительной оценки органолептических показателей следует их оценка путем механического воздействия, а именно путем надавливания пальцами рук или нажима зубами, оценивают структуру и вид в изломе готовых мучных кондитерских изделий.

Структура мучных кондитерских изделий характеризуется равномерной пористостью, пропеченнostью, отсутствием следов непромеса. Если мучные изделия имеют начинку (например, вафли, пряники, рулеты), то устанавливается структура начинки и ее консистенция. При наличии в сахаристых и мучных кондитерских изделиях твердых или желеобразных включений дополнительного сырья (орехов, изюма и т.п.), предусмотренного рецептурой, они должны быть равномерно распределены в массе продукта или начинки.

На заключительном этапе определяли запах и вкус готовых изделий.

**Таблица 1**

Рецептура экспериментальных образцов кексов

Сырье	Расход сырья на 1 штуку готового изделия, г			
	Контрольный образец	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Мука пшеничная высшего сорта	23,39/20,0	11,70/10,0	-	11,70/10,0
Мука виноградной косточки	-	11,70/10,0	-	-
Кукурузная мука	-	-	23,39/20,0	-
Мука из зеленой гречки	-	-	-	11,70/10,0
Сахар-песок	17,55/17,52	17,55/17,52	17,55/17,52	17,55/17,52
Масло подсолнечное	17,45/14,73	-	4,42/4,42	-
Масло виноградной косточки	-	14,73/14,73	-	-
Тыквенное масло	-	-	10,31/10,31	-
Облепиховое масло	-	-	-	14,73/14,73
Меланж	14/3,8	14/3,8	14/3,8	14/3,8
Соль поваренная пищевая	0,069	0,069	0,069	0,069
Ванильный сахар	0,07/0	0,07/0	0,07/0	0,07/0
Разрыхлитель	0,07/0	0,07/0	0,07/0	0,07/0
Итого		73,55/56,93		
Выход		61/53		

Массовая доля влаги в образцах определена по ГОСТ 5900–2014, щелочность — по ГОСТ 5898–2022.

Расчет пищевой и энергетической ценности готовых изделий производили по данным справочника «Химический состав российских пищевых продуктов»<sup>2</sup>, степень удовлетворения физиологических потребностей детей организма в данных веществах — согласно Методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253–21<sup>3</sup>.

## Анализ данных

Исследования проводили в трехкратной повторности. Обработку экспериментальных данных осуществляли в программе Microsoft Excel. Результаты представлены в виде среднего значения со стандартным отклонением.

Таблица 2

Органолептическая оценка контрольного образца кекса

Наименование показателя	Требования к показателю по ГОСТ 15052–2014	Характеристика показателей контрольного образца (с заменой сливочного масла на подсолнечное)
Вкус и запах	Изделия со сдобным вкусом и характерным ароматом предусмотренных в составе кексов пищевых ингредиентов, добавок или ароматизаторов, без постоянных привкусов и запахов	Изделия со сдобным ванильным вкусом и ароматом выпеченного изделия, в меру сладкие, без посторонних привкусов и запахов
Поверхность	Верхняя – выпуклая, с характерными трещинами, различными видами отделки или без нее, с наличием явно выраженной боковой поверхности.  Не допускается на нижней и боковой поверхностях наличие пустот, подгорелостей, разрывов и неровностей	Верхняя поверхность выпуклая, золотистого цвета с характерными трещинами
Вид в изломе	Пропеченное изделие без комочек, следов непромеса, с равномерной пористостью, без пустот и закала	Пропеченное изделие без комочек, следов непромеса, с равномерной пористостью, без пустот и закала, цвет в изломе – кремовый
Структура	Мягкая, связанная, разрыхленная, пористая, без пустот и уплотнений	Рассыпчатая, крошившаяся, пористая структура без пустот и уплотнений, консистенция суховатая
Форма	Правильная, с выпуклой верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности ровные, без пустот и раковин	Правильная округлая форма с выпуклой верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности ровные, без пустот и раковин

<sup>2</sup> Скурихин, И. М., Тутельян В.А. (2002). Химический состав российских пищевых продуктов. М.: ДeЛи принт

<sup>3</sup> Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21 (2021). «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации», утверждены руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека — Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 22.07.2021.

<sup>4</sup> ГОСТ 15052–2014 (2019) Кексы. Общие технические условия. М.: Стандартинформ.

Характеристика органолептических показателей контрольного образца кекса графически представлена на Рисунке 1.

Внешний вид контрольного образца и экспериментальных образцов кексов представлен на Рисунках 2 и 3. Из данных рисунков можно сделать вывод, что образцы №2 и №3 имеют более низкие оценки внешних характеристик из-за отсутствия выпуклой поверхности кексов и трещин, которые являются характерной особенностью данного вида мучных кондитерских изделий. Необходимо отметить отсутствие дефектов (наличие пустот, следов непромеса и уплотнений) в мякише образцов изделий, а поверхность кексов не имеет подгоревших мест.

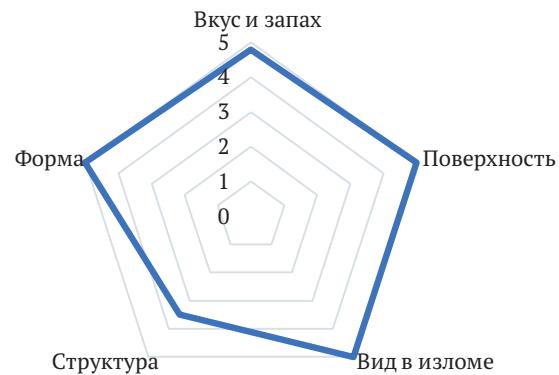
Особенностью экспериментальных образцов кексов является их цвет. Важно отметить, что при их изготовлении не использовались натуральные, синтетические красители и какао-порошок. Таким образом, цвет образцов обусловлен только наличием натуральных пигментов в составе исходного сырья. В формировании цвета образцов №1, 2, 3 сыграли роль пигменты, входящие в состав, соответственно, муки из виноградных косточек, тыквенного масла и кукурузной муки, облепихового масла. Так, образец №1 имеет темно-коричневый цвет благодаря высокому содержанию дубильных веществ, образец №2 имеет желто-зеленый цвет, благодаря большому количеству хлорофилла в тыквенном масле, а образец №3 — ярко-оранжевый цвет из-за высокой концентрации каротиноидов в облепиховом масле.

Качественная оценка органолептических показателей экспериментальных образцов, изготовленных с использованием выбранных ингредиентов, представлена в Таблице 3.

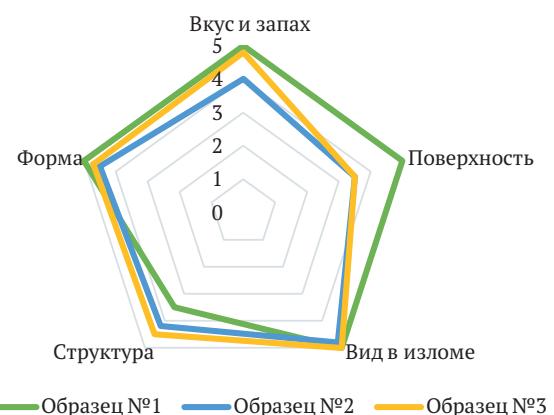
Результатом органолептического анализа изготовленных образцов кексов является рейтинговая оценка их качества, которая количественно выражает соответствие органолептических характеристик кексов требованиям нормативной документации.

На Рисунке 3 графически представлена профилограмма в виде сравнения количественных характеристик органолептических показателей экспериментальных образцов кексов. Итоговый балл

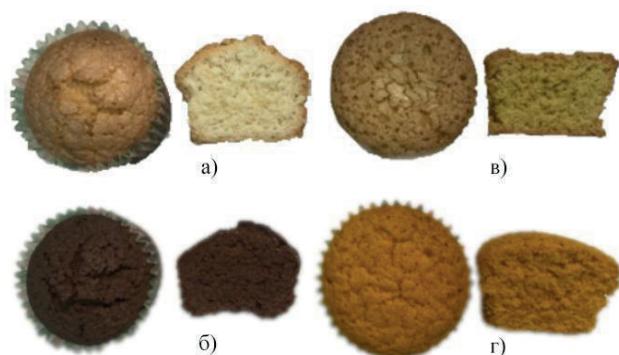
**Рисунок 1**  
Профилограмма контрольного образца кекса



**Рисунок 2**  
Профилограмма экспериментальных образцов кексов



**Рисунок 3**  
Внешний вид образцов кексов



Примечание. а) контрольный образец; б) образец №1; в) образец №2; г) образец №3

органолептических показателей контрольного образца кекса составил 4,66, экспериментальных образцов кексов — 4,7; 4,2 и 4,5, соответственно.

Образцы №2 и №3 характеризуются мягкой, более влажной консистенцией, что связано с видом ис-

Таблица 3

Органолептическая оценка экспериментальных образцов кексов

Наименование показателя	Характеристика органолептических показателей		
	Образец №1	Образец №2	Образец №3
Вкус и запах	Имеют вкус сдобного выпеченного изделия с характерным для муки из виноградных косточек ароматом и послевкусием шоколада, в меру сладкие, без посторонних привкусов и запахов	Изделия со сдобным вкусом и ярко выраженным характерным ароматом и вкусом кукурузной муки, в меру сладкие, без посторонних привкусов и запахов, присутствие хруста, обусловленного помолом муки	Изделия со сдобным вкусом и ярко выраженным характерным ароматом и вкусом облепихи, в меру сладкие (сладче, чем остальные образцы), без посторонних привкусов и запахов
Поверхность	Верхняя поверхность выпуклая, с характерными трещинами. Цвет поверхности темно-коричневый	Верхняя поверхность плоская, характерные трещины отсутствуют. Выпеченные изделия имеют недостаточный подъем. Цвет – светло-коричневый	Верхняя поверхность плоская, характерные трещины отсутствуют. Выпеченные изделия имеют недостаточный подъем. Цвет – желто-оранжевый
Вид в изломе	Равномерно пропеченное изделие с равномерной пористостью, цвет в изломе – темно-коричневый	Равномерно пропеченное изделие с равномерной пористостью, цвет в изломе – желто-зеленый	Равномерно пропеченное изделие с равномерной пористостью, цвет в изломе – желто-оранжевый
Структура	Разрыхленная, воздушная, пористая структура без пустот и уплотнений. Консистенция более мягкая, чем у контрольного образца. Присутствует незначительный хруст, характерный для виноградной муки	Разрыхленная, пористая структура без пустот и уплотнений. Консистенция более влажная, мягкая, чем у контрольного образца. Менее пористая структура относительно других образцов	Разрыхленная, пористая структура без пустот и уплотнений. Консистенция более влажная, мягкая по сравнению с остальными образцами
Форма	Правильная округлая форма с выпуклой верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности ровные, без порошащих признаков	Правильная округлая форма с плоской верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности ровные, без порошащих признаков	Правильная округлая форма с плоской верхней поверхностью. Нижняя и боковые поверхности ровные, без порошащих признаков

пользуемой муки и жирового сырья. Добавление тыквенного и облепихового масел придает готовым изделиям приятный влажный, обволакивающий эффект. Виноградная мука, вносимая в рецептуру образца №1, отличалась наличием незначительного характерного хруста, что повлияло на структуру готовых кексов.

Полученные результаты согласуются с исследованиями Troilo et al. (2022), в котором авторы разработали рецептуру хлебобулочных изделий с добавлением муки из виноградных косточек. Авторами показано влияние крупности помола (размер частиц) муки на потребительские характеристики хлебобулочных изделий. Установлено, что по мере уменьшения размера частиц антиоксидантная активность, общее содержание антиоксидантов, фенолов в муке увеличиваются, а структурные показатели незначительно ухудшаются (разрыхленность, пористость). Сенсорный анализ показал, что мень-

ший размер частиц приводит к образованию пор неправильной формы в мякише готовых изделий (Troilo et al., 2022).

Минимальную оценку получил образец №2 (4,2 балла), что объясняется ярко выраженным вкусом кукурузной муки, наличием хруста, ровной верхней поверхностью, недостаточной высотой изделия, отсутствием характерных трещин и менее пористой структурой.

Образец №3 отличался ярко выраженным характерным ароматом и вкусом облепихи, в меру сладким вкусом, желто-оранжевым цветом и более влажной, мягкой консистенцией по сравнению с остальными образцами. Это обусловлено содержанием в муке из зеленой гречки гидрофильных высокомолекулярных соединений, в частности белков, крахмала и клетчатки, обладающие важными технологическими свойствами, такими как во-

досвязывающая способность и набухание. Таким образом, полученные результаты, с одной стороны, коррелируют с результатами исследований Brites et al. (2022), использовавших в технологии хлебобулочных изделий гречневую муку. В изделиях из пшеничной муки с добавлением гречневой было установлено изменение в реологии теста. Так увеличение количества замены пшеничной на гречневую муку (до 30%) повлияло на водопоглощение, стабильность и растяжимость теста, время его выработки и привело к ослаблению клейковины. При 30%-ном содержании муки из гречневой крупы происходило более быстрое черствение готовых изделий (Brites et al., 2022). С другой стороны, проведенные исследования противоречат исследованиям Мячиковой соавт. (2023), в котором авторы разрабатывали рецептуру безглютенового кекса из смеси муки гречневой из зеленой гречки и муки рисовой в соотношении 1:1, без добавления пшеничной. Кекс, изготовленный авторами, имел лучшие показатели на основании комплекса проведенных исследований.

Максимальную оценку получил образец №1 (4,7 баллов), характеризовался приятным ароматом шоколада и шоколадным послевкусием, наличием красивой выпуклой верхней поверхности с характерными трещинами. Полученные результаты совпадают с результатами исследований Difonzo et al. (2023), Oprea et al. (2022), Troilo et al. (2022), выявившими положительное влияние добавление муки из виноградных косточек на вкусо-ароматические характеристики мучных кондитерских изделий.

Меренковой соавт. (2021) разработаны рецептуры булочных изделий, включающие мучные смеси из нетрадиционных видов муки (мука льняная и копропляя, мука из виноградных косточек) в разных соотношениях, где количество муки из виноградных косточек в смеси составило 5%. При исследовании органолептических свойств изделий уста-

новлено, что готовые изделия характеризовались специфическим цветом, вкусом и ароматом.

Проведенными исследованиями показан положительный эффект использования в технологии кексов муки из виноградных косточек в качестве 50% замены пшеничной муки.

## Физико-химические показатели качества образцов

Физико-химические показатели разработанных образцов соответствовали требованиям нормативной документации и представлены в Таблице 4. Для образца №1 характерно низкое значение показателя щелочности ( $0,4 \pm 0,04$  град.), что обусловлено белковым и жирно-кислотным составом, высоким содержанием дубильных веществ и фенольных соединений в муке и масле из виноградной косточки (Bordiga et al., 2019).

## Нутриентный состав образцов

Пищевая ценность продуктов определяется содержанием в них главных пищевых веществ: белков, жиров, углеводов, витаминов и минеральных солей (Bailey et al., 2019; Hager et al., 2012; Рензяева & Дмитриева., 2009; Попов и соавт., 2021; Решетник и соавт., 2016). Все вышеперечисленные макро- и микронутриенты играют важнейшую роль в нормальной работе отдельных систем и органов, а также организма в целом. Так, белки выполняют ряд функций, основными из которых являются пластическая, ферментативная, сократительная транспортная и др. Жиры являются основным источником энергии человека, а также выполняют запасающую функцию. Снабжают организм энергией также и углеводы, которые наряду с этим выполняют рецепторную, пластическую, защитную и др. функции.

Таблица 4

Физико-химические показатели разработанных образцов

Наименование показателя	Контрольный образец	Значение показателя		
		Образец №1	Образец №2	Образец №3
Массовая доля влаги, %	$12,75 \pm 0,03$	$12,72 \pm 0,04$	$14,88 \pm 0,02$	$17,04 \pm 0,03$
Щелочность, град.	$1,8 \pm 0,01$	$0,4 \pm 0,04$	$1,8 \pm 0,03$	$1,6 \pm 0,01$

Потребность в белке — эволюционно сложившаяся доминанта в питании человека, обусловленная необходимостью обеспечивать оптимальный физиологический уровень поступления незаменимых аминокислот. Наиболее полноценными по аминокислотному составу являются животные белки, однако стоит отметить, что используемые для обогащения образцов изделий виды муки имеют высокое содержание растительных белков: мука виноградной косточки — 18 г, мука из зеленой гречки — 12,6 г, пшеничная мука — 10,3 г, кукурузная мука — 7 г белка в 100 г продукта.

Что касается основного источника энергии — жиров, то важно не только их содержание в продукте, но и количество и соотношение насыщенных, мононенасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот. Насыщенные жирные кислоты необходимы организму, однако высокое их содержание в продуктах питания в разы повышает риск развития онкологии и ряда серьезных заболеваний, среди которых можно выделить сахарный диабет, ожирение, а также сердечно-сосудистые и др. заболевания. Вследствие вышеописанных рисков потребление насыщенных жирных кислот сводится к 10 % от калорийности суточного рациона (Bailey et al., 2019; Юрченко и соавт., 2019; Li et al., 2011; Tucker et al., 2005).

Мононенасыщенные жирные кислоты выполняют важную функцию в организме человека — нормализуют обменные процессы. К прочим функциям

таких жирных кислот относится снижение уровня холестерина в крови, повышение прочности сосудов и профилактика возникновения сердечно-сосудистых заболеваний. Мононенасыщенные жирные кислоты должны поступать в организм человека в количестве 10 % от калорийности суточного рациона. Особое значение для организма человека имеют такие полиненасыщенные жирные кислоты, как линолевая, линоленовая, являющиеся структурными элементами клеточных мембран, и обеспечивающие нормальное развитие и адаптацию организма человека к неблагоприятным факторам окружающей среды. Физиологическая потребность в данных жирных кислотах для детей составляет 5–14 % от калорийности суточного рациона (Методические рекомендации МР 2.3.1.0253–21).

Содержание жирных кислот в используемых видах масел представлено ниже в Таблице 5.

Анализируя данные таблицы 4, можно сделать вывод, что масло из виноградных косточек содержит наибольшее количество полиненасыщенных жирных кислот, наименьшее их содержание характерно в тыквенном масле. Стоит отметить, что несмотря на наименьшее содержание полиненасыщенных жирных кислот, тыквенное масло содержит максимальное количество линоленовой кислоты, имеющей огромное влияние на работу кровеносной и сердечно-сосудистой системы. Что касается обле-

**Таблица 5**  
Содержание жирных кислот в используемых видах масел

Название жирной кислоты	Содержание жирной кислоты в 100 г продукта, г			
	Подсолнечное масло	Масло из виноградных косточек	Тыквенное масло	Облепиховое масло
Насыщенные жирные кислоты	5,14	9,6	18,89	10,88
14:0 Миристиновая	0,08	0,1	0,14	0,09
16:0 Пальмитиновая	0,83	6,7	12,5	7,06
18:0 Стеариновая	3,17	2,7	5,73	2,97
20:0 Арахиновая	0,22	-	0,35	0,19
22:0 Бегеновая	0,84	-	0,17	0,56
Мононенасыщенные жирные кислоты	28,4	16,1	28,74	30,73
16:1 Пальмитолеиновая	0,18	0,3	0,23	0,19
18:1 Олеиновая (омега-9)	28,22	15,8	28,51	30,54
Полиненасыщенные жирные кислоты	60,31	69,9	52,28	58,24
18:2 Линолевая	60,25	69,6	51,5	57,99
18:3 Линоленовая	0,06	0,1	0,78	0,25

пищевого масла, то оно содержит наибольшее количество мононенасыщенных жирных кислот в своем составе, в отличие от остальных видов масла (Olas et al., 2018).

Углеводы в организме имеют преимущественно энергетическую ценность, хотя участвуют и в пластических процессах. Из всех углеводов наибольший интерес представляют пищевые волокна. Содержание пищевых волокон в различных видах муки по данным разных источников (Renzyaeva et al., 2022; Brites et al., 2022; Difonzo et al., 2023; Hager et al., 2012) представлено в Таблице 6.

Функции пищевых волокон в пищеварении многообразны. Они стимулируют перистальтику, выделение желчи, задержку в кишечнике воды, адсорбируют продукты обмена микроорганизмов (пектин), желчные кислоты, соли тяжелых метал-

мировавшимся в процессе эволюции биологическим видом и окружающей средой, направленная на обеспечение жизнедеятельности, сохранения и воспроизведения вида и поддержания адаптационного потенциала (Решетник и соавт., 2016; Aly et al., 2021; Bailey et al., 2019; Brites et al., 2022; Hager et al., 2012).

Учеными всего мира активно ведутся исследования по поиску новых видов сырья для повышения пищевой ценности продуктов питания (Brites et al., 2022; Difonzo et al., 2023; Hager et al., 2012). Проведены исследования по использованию гречневой муки в качестве частичной замены пшеничной в технологии хлебобулочных изделий. Доказано более высокое содержание золы, белка, клетчатки и энергии в готовых изделиях (Mohajan et al., 2019).

Виноградные косточки обладают высоким потенциалом для использования в качестве функционального ингредиента в пищевой промышленности благодаря высокому содержанию в них белка, клетчатки, минералов и полифенолов (Troilo et al., 2021, 2022). Перспективность использования муки из виноградных косточек с целью обогащения и повышения нутриентного состава в технологии хлебобулочных изделий также не вызывает сомнений. Установлено, что частичная замена пшеничной муки на муку из виноградных косточек (3% и 5%) в технологии хлеба позволяет обогатить изделия клетчаткой, медью и цинком без ухудшения ресурсных свойств готовых изделий (Oprea et al., 2022). Bordiga et al. (2019) доказали пробиотическую активность в отношении пробиотических бактерий, таких как *Lactobacillus acidophilus* олигосахаридных фракций, экстрагированных из виноградных косточек.

Биологически активными соединениями в гречихе являются флавоноиды (рутин, кверцетин, ориент, изоориентин, витексин и изовитексин), жирные кислоты, полисахариды, белки и аминокислоты, пищевые волокна, витамины и минералы. Гречиха обладает высокой питательной ценностью благодаря этим биологически активным соединениям, что позволяет использовать ее в качестве функционального продукта питания (Huda et al., 2021).

**Таблица 6**  
Содержание пищевых волокон в используемых видах муки

Наименование продукта	Количество пищевых волокон в 100 г продукта, г
Пшеничная мука высшего сорта	3,5
Мука из виноградных косточек	25
Кукурузная мука	4,4
Мука из зеленой гречки	4,4

лов, канцерогены, радионуклиды, что способствует профилактике рака кишечника, уменьшению интоксикации организма. По содержанию пищевых волокон явным лидером является мука из виноградных косточек. Образец №1, приготовленный с использованием данной муки, удовлетворяет суточную потребность в пищевых волокнах от 62 до 83 %. Наименьшее содержание пищевых волокон наблюдается в пшеничной муке высшего сорта, что объясняется способом производства данной муки, одной из стадий которого является шелушение — удаление оболочек зерна, наиболее богатых клетчаткой.

Физиологическая потребность в энергии и пищевых веществах — это необходимая совокупность алиментарных факторов для поддержания динамического равновесия между человеком как сфор-

**Таблица 7**

Содержание основных пищевых веществ в разработанных кексах и степень удовлетворения физиологических потребностей детского организма в данных веществах

Наиме- нование веще- ства	Содержание вещества в 100 г готового изделия				% от суточной нормы потребления						Суточная норма				
	Кон- троль- ный обра- зец	Об- разец №1	Об- разец №2	Об- разец №3	Образец №1		Образец №2		Образец №3		для детей 7-10 лет	для детей 11-14 лет			
					для детей 7-10 лет	для детей 11-14 лет	для детей 7-10 лет	для детей 11-14 лет	для детей 7-10 лет	для детей 11-14 лет					
Белки, г	5,4	8,4	5,0	7,0	13,3	11,7	7,9	6,9	11,1	9,7	63,0	72,0			
Жиры, г	24,7	31,8	28,8	30,3	45,4	39,8	41,1	36,0	43,3	37,9	70,0	80,0			
Углево- ды, г	47,8	42,4	50,9	51,4	13,9	12,2	16,7	14,6	16,9	14,7	305,0	348,5			
Пище- вые во- локна, г	1,1	12,6	3,2	2,3	83,7	62,8	21,6	16,2	15,0	11,3	15,0	20,0			
Энерге- тическая цен- ность, ккал	434				489,0	482,0	506,0	23,3	20,4	23,0	20,1	24,1	21,1	2100,0	2400,0
Na, мг	0,91	217,8	67,7	69,8	21,8	19,8	6,8	6,2	7,0	6,3	1000,0	1100,0			
K, мг	36,81	96,4	58,8	56,93	10,7	6,42	6,53	3,92	6,32	3,79	900,0	1500,0			
Ca, мг	5,43	184,5	19,7	20,4	16,8	15,4	1,8	1,6	1,9	1,7	1100,0	1200,0			
Mg, мг	4,83	100,6	13,1	42,5	40,2	33,5	5,2	4,4	17,0	14,2	250,0	300,0			
P, мг	26,4	184,2	78,7	113,5	16,7	15,4	7,2	6,6	10,3	9,5	1100,0	1200,0			
Fe, мг	0,362	4,2	1,6	2,1	35,2	31,3	13,0	11,5	17,5	15,5	12,0	13,5			
Se, мкг	1,81	0,002	0,004	0,001	5,8	4,3	12,3	9,2	3,7	2,8	0,03	0,04			
I, мкг	0,45	44,9	0,0	0,9	37,4	34,5	0,0	0,0	0,7	0,7	120,00	130,0			
Витамин A, мкг	0,001	141,3	56,9	131,2	20,2	15,7	8,1	6,3	18,7	14,6	700,0	900,0			
Кароти- ноиды, мг	0,001	0,2	0,8	0,3	1,8	1,8	6,5	6,5	2,9	2,9	12,0	12,0			
B1, мг	0,051	0,3	0,1	0,1	23,5	19,9	10,8	9,1	9,7	8,2	1,1	1,3			
B2, мг	0,012	0,2	0,1	0,1	16,5	13,2	12,4	9,9	11,6	9,3	1,2	1,5			
B4, мг	15,74	10,1	19,2	9,6	2,0	2,9	3,8	5,5	1,9	2,7	500,0	350,0			
B5, мг	0,091	0,2	0,2	0,1	6,9	5,9	5,9	5,0	1,7	1,5	3,0	3,5			
B6, мг	0,051	0,0	0,2	0,1	1,4	1,3	13,2	12,0	5,7	5,2	1,5	1,7			
PP, мг	0,90	1,6	0,6	1,0	10,9	9,1	3,8	3,1	6,6	5,5	15,0	18,0			
C, мг	0,01	0,05	0,03	0,02	0,08	0,05	0,03	0,07	0,04	0,03	60,0	65,0			
E, мг	3,23	12,4	1,8	1,4	124,1	103,4	17,6	14,7	13,7	11,4	10,0	12,0			
K, мкг	1,3	85,6	1,4	0,1	142,6	114,1	2,4	1,9	0,1	0,1	60,0	75,0			
H, мкг	0,60	3,7	0,0	0,5	18,4	14,7	0,0	0,0	2,7	2,2	20,0	25,0			
НЖК, г	2,57	3,0	4,1	3,2	1,8	1,5	2,4	2,1	1,9	1,7	168,0	192,0			
МНЖК, г	5,28	5,0	8,3	9,0	2,4	2,1	4,0	3,5	4,3	3,7	210,0	240,0			
ПНЖК, г	14,44	21,5	15,1	17,0	10,2	9,0	7,2	6,3	8,1	7,1	210,0	240,0			

## Пищевая и энергетическая ценности готовых изделий

Содержание основных пищевых веществ в разработанных кексах и процент удовлетворения физиологических потребностей детского организма в этих веществах представлены в Таблице 7.

Согласно Таблице 6, разработанные образцы изделий по содержанию белка не уступают контрольному образцу, а по содержанию жира, пищевых волокон, витаминов и минеральных веществ — превосходят контрольный образец. Образец №1 в наибольшей степени по сравнению с другими образцами удовлетворяет физиологические потребности детского организма в минорных компонентах. Так, образец №1 имеет повышенную пищевую ценность за счет высокого содержания белков и пищевых волокон в виноградной муке, в витаминах Е и К удовлетворяет суточную потребность полностью, в пищевых волокнах на 62–83% и потребность в полиненасыщенных жирных кислотах на 9–10%. Данный образец наиболее богат минеральными веществами, такими как калий, кальций, магний, фосфор и железо.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования разработаны рецептуры кексов с применением нетрадиционных видов муки и растительных масел, изучено влияние выбранных ингредиентов на формирование потребительских свойств изделий. При исследовании органолептических свойств изделий установлено, что готовые изделия характеризовались специфическим цветом, вкусом и ароматом. Образцы № 2 и № 3 характе-

ризовались мягкой, более влажной консистенцией, что связано с видом используемой муки и жирового сырья. Добавление тыквенного и облепихового масел придает готовым изделиям приятный влажный, обволакивающий эффект. Максимальную оценку получил образец №1 с добавлением муки из виноградных косточек, он характеризовался приятным ароматом шоколада и шоколадным послевкусием, наличием выпуклой верхней поверхности с характерными трещинами. По физико-химическим показателям качества изделия соответствовали значениям нормативных документов. Установлено, что разработанные образцы изделий имеют повышенную пищевую ценность, обогащены полиненасыщенными жирными кислотами, витаминами (A, B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>, E) и минеральными веществами (Mg, Ca, K, Fe, P).

Включение разработанных изделий в рацион детей позволит восполнить дефицит минеральных веществ, витаминов, пищевых волокон и полиненасыщенных жирных кислот в детском организме.

Социально-экономический эффект разработанных технологий мучных кондитерских изделий на основе различных растительных масел, кукурузной муки, муки из зелёной гречки и виноградных косточек заключается в расширении ассортимента продуктов специализированного назначения, являющиеся востребованными в настоящее время.

Дальнейшие исследования будут направлены на поиск новых подходов и сырьевых ресурсов для создания рецептур и технологий специализированных продуктов для питания детей старшего школьного возраста.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алексеенко, Е. В., Быстрова, Е. А., & Бакуменко, О. Е. (2019). Применение сублимированного порошка брусники при изготовлении мучных кондитерских изделий. *Пищевая промышленность*, 5, 18–21. <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10065>
- Alekseenko, E. V., Bystrova, E. A., & Bakumenko, O. E. (2019). The application of freeze-dried cranberry powder in the flour confectionery production. *Food Industry*, 5, 18–21. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2486-2019-10065>
- Бугаец, Н. А., Амин Альван, Бухтоярова, З. Т., Корнева, О. А., & Минакова, А. Д. (2001). Повышение биологической ценности мучных кондитерских изделий. *Известия вузов. Пищевая технология*, 4, 42–43.
- Bugayets, N. A., Amin Alvan, Bukhtoyarova, Z. T., Korneva, O. A., & Minakova, A. D. (2001). Increasing the biological value of flour confectionery products. *Food Technology*, 4, 42–43. (In Russ.)
- Габдукаева, Л. З., & Решетник, О. А. (2019). Влияние нетрадиционных видов муки на формирование потребительских свойств вафель. *Современная наука и инновации*, 1(25), 100–108. <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2019-25-1-100-108>

- Gabdukaeva, L. Z., & Reshetnik, O. A. (2019). The impact of non-traditional types of flour on the formation of consumer properties of wafers. *Modern Science and Innovation*, 1(25), 100–108. (In Russ.) <https://doi.org/10.33236/2307-910X-2019-25-1-100-108>
- Егорова, Е. Ю., Резниченко, И. Ю., Бочкарев, М. С., & Дорн, Г. А. (2014). Разработка новых кондитерских изделий с использованием нетрадиционного сырья. *Техника и технология пищевых производств*, 3(34), 31–38.
- Egorova, E. Yu., Reznychenko, I. Yu., Bochkarev, M. S., & Dorn, G. A. (2014). Development of new confectionery using non-traditional raw materials. *Food Processing: Techniques and Technology*, 3(34), 31–38. (In Russ.)
- Иванова, И. В., Белкина, Т. В., Белоглазова, М. В., Филиппова, Л. А., & Радчук, А. А. (2016). Использование и получение фруктовых и овощных добавок в производстве мучных, кондитерских и хлебобулочных изделий. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК-продукты здорового питания*, 1, 43–47.
- Ivanova, I. V., Belkina, T. V., Beloglazova, M. V., Filippova, L. A., & Radchuk, A. A. (2016). The use and obtaining of fruit and vegetable additives in the productions of flour, confectionery and bakery products. *Technologies for the Food and Processing Industry of AIC-Healthy Food*, 1, 43–47. (In Russ.)
- Козубаева, Л. А., & Кузьмина, С. С. (2022). Современные тенденции формирования ассортимента безглютеновых мучных кондитерских изделий. *Ползуновский вестник*, 4(1), 57–67. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.007>
- Kozubaeva, L. A., & Kuzmina, S. S. (2022). Modern trends in the formation of the range of gluten-free flour confectionery products. *Polzunovskiy Vestnik*, 4(1), 57–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2022.04.007>
- Меренкова, С. П., Гривальд, С. А., & Худякова, А. М. (2021). Разработка технологии булочных изделий, обогащенных нетрадиционными видами муки. *Вестник Красноярского государственного аграрного университета*, 8(173), 32–37. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-8-154-161>
- Merenkova, S. P., Grinvald, S. A., & Khudyakova, A. M. (2021). Technology development of baked products enriched with unconventional types of flour. *Vestnik Krasnoyarskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 8(173), 32–37. (In Russ.) <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-8-154-161>
- Мистенева, С. Ю., Солдатова, Е. А., Щербакова, Н. А., Герасимов, Т. В., & Талейник, М. А. (2019). Основные аспекты создания специализированных кондитерских изделий для питания детей дошкольного и школьного возраста. *Техника и технология пищевых производств*, (3), 9–11. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-413-422>
- Mistenyeva, S. Yu., Soldatova, E. A., Shcherbakova, N. A., Gerasimov, T. V., & Taleynik, M. A. (2019). Main aspects of creating specialized confectionery products for preschool and school children. *Food Processing: Techniques and Technology*, (3), 9–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-413-422>
- (3), 9–11. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-413-422>
- Мячикова, Н. И., Болтенко, Ю. А., Чуркина, Я. В., & Елисеева, Е. Н. (2023). Влияние нетрадиционных видов муки на формирование потребительских свойств кексов. *Ползуновский вестник*, (4), 15–23. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.002>
- Myachikova, N. I., Boltenko, Yu. A., Churkina, Ya. V., & Eliseeva, E. N. (2023). Influence of non-traditional flours on the formation of consumer properties of cupcakes. *Polzunovskiy Vestnik*, (4), 15–23. (In Russ.) <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2023.04.002>
- Рензяева, Т. В., & Дмитриева, Е. В. (2009). Закономерности формирования качества мучных кондитерских изделий с использованием растительных масел. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, (1), 1–3.
- Renzyaeva, T. V., & Dmitrieva, E. V. (2009). Formation regularities of flour confectionery goods with vegetable oil. *Food Technology*, (1), 1–3. (In Russ.)
- Решетник, Е. И., Шарипова, Т. В., & Максимюк, В. А. (2016). *Методология проектирования продуктов питания с требуемым комплексом показателей пищевой ценности*. Благовещенск: Дальневосточный ГАУ.
- Reshetnik, E. I., Sharipova, T. V., & Maksimuk, V. A. (2016). *Methodology for designing food products with the required set of nutritional value indicators*. Blagoveshchensk: Far Eastern State Agrarian University. (In Russ.)
- Попов, В. Г., Хайруллина, Н. Г., & Садыкова, Х. Н. (2021). Тенденции использования безглютеновых видов муки в производстве продукции функционального назначения. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 1(87), 121–128. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-121-128>
- Popov, V. G., Khairullina, N. G., & Sadykova, Kh. N. (2021). Trends in the use of gluten-free flours in the production of functional products. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 1(87), 121–128. (In Russ.) <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-121-128>
- Юрченко, Е. Н., & Канюка, Е. Ю. (2019). Жирнокислотный состав растительных масел. ЛОГОС. *Мистецтво наукової думки*, (2), 67–69.
- Yurchenko, E. N., & Kanyuka, E. Yu. (2019). Fatty acid composition of vegetable oils. *Lógos. The Art of Scientific Mind*, (2), 67–69. (In Russ.)
- Aly, A. A., El-Deeb, F. E., Abdelazeem, A. A., Hameed, A. M., Alfi, A. A., Hussain A. H., & Alrefaei, A. F. (2021). Addition of whole barley flour as a partial substitute of wheat flour to enhance the nutritional value of biscuits. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(5), 103112. <https://doi.org/10.1016/j.arbjc.2021.103112>
- Bailey, R. L., Dodd, K. W., Gahche, J. J., Dwyer, J. T., Cowan, A. E., Jun, S., Eicher Miller, H. A., Guenther, P. M., Bhadra, A., Thomas, P. R., Potischman, N., Raymond, C., & Tooze, J. (2019). Best practices for dietary supplement assessment and estimation of total usual nutrient intakes in population-level research and monitoring. *The Journal of Nutrition*, 149(2), 181–197. <https://doi.org/10.1093/jn/nxy264>

- Bordiga, M., Travaglia, F., & Locatelli, M. (2019). Valorisation of grape pomace: An approach that is increasingly reaching its maturity — A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 933–942. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14118>
- Bordiga, M., Montella, R., Travaglia, F., Arlorio, M., & Coïsson, J. D. (2019). Characterization of polyphenolic and oligosaccharidic fractions extracted from grape seeds followed by the evaluation of prebiotic activity related to oligosaccharides. *International Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 1283–1291. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14109>
- Brites, L. T. G. F., Rebellato, A. P., Meinhart, A. D., Godoy, H. T., Pallone, J. A. L., & Steel, C. J. (2022). Technological, sensory, nutritional and bioactive potential of pan breads produced with refined and whole grain buckwheat flours. *Food Chemistry*, 13, 100243. <https://doi.org/10.1016/j.foodch.2022.100243>
- Difonzo, G., Troilo M., Allegretta I., Pasqualone A., & Caponio F. (2023). Grape skin and seed flours as functional ingredients of pizza: Potential and drawbacks related to nutritional, physicochemical and sensory attributes. *Food Science and Technology*, 175, 114494. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114494>
- Hager, A.-S., Wolter, A., Jacob, F., Zannini, E., & Arendt, E.K. (2012). Nutritional properties and ultra-structure of commercial gluten free flours from different botanical sources compared to wheat flours. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 239–247. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.005>
- Hieu, N., Sandalinas, F., De Sesmaisons, A., Laillou, A., Tam, N., Khan, N. C., Bruyeron, O., Wieringa, F. T., & Berger, J. (2012). Multi-micronutrient-fortified biscuits decreased the prevalence of anaemia and improved iron status, whereas weekly iron supplementation only improved iron status in Vietnamese school children. *British Journal of Nutrition*, 108(8), 1419–1427. <https://doi.org/10.1017/S0007114511006945>
- Huda, M. N., Lu, S., Jahan, T., Ding, M., Jha, R., Zhang, K., Zhang, W., Georgiev, M. I., Park, S. U., & Zhou, M. (2021). Treasure from garden: Bioactive compounds of buckwheat: *Food Chemistry*, 335, 127653. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127653>
- Li, C., Yao, Y., Zhao, G., Cheng, W., Liu, H., Liu, C., Shi, Z., Chen, Y., & Wang, S. (2011). Comparison and analysis of fatty acids, sterols, and tocopherols in eight vegetable oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(23), 12493–12498. <https://doi.org/10.1021/jf203760k>
- Lu, Y., Chen, Y. X., He, M., & Yang, Y. X. (2012). Composition of fatty acid in commercially available bottled vegetable oil. *Journal of Hygiene Research*, 41(3), 445–448.
- Olas, B. (2018). The beneficial health aspects of sea buckthorn (*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A.Nelson) oil. *Journal of Ethnopharmacology*, 213, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2017.11.022>
- Mattos, G. N., Tonon, R. V., Furtado, A. A. L., & Cabral, L. M. C. (2017). Grape by-product extracts against microbial proliferation and lipid oxidation: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97 (4), 1055–1064. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14118>
- Mohajan, S., Munna, M., Orchy, T., Hoque, M., & Farzana, T. (2019). Buckwheat flour fortified bread. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 54(4), 347–356. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v54i4.44569>
- Oprea, O. B., Pop, M. E., Apostol, L., & Gacha, L. (2022). Research on the potential use of grape seed flour in the bakery industry. *Foods*, 11, 1589. <https://doi.org/10.3390/foods11111589>
- Padhi, S., & Dwivedi, M. (2022). Physico-chemical, structural, functional and powder flow properties of unripe green banana flour after the application of Refractance window drying. *Future Foods*, 5, 100101. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100101>
- Renzyaeva, T. V., Tuboltseva, A. S., & Renzyaev, A. O. (2022). Various flours in pastry production technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(2), 407–416. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>
- Sergieva, S. U., Bagaeva, T. V., Gabdukaeva, L. Z., & Reshetnik O. A. (2019). Bakery product technology for treatment and preventive nutrition. *Eurasian Journal of BioSciences*, 13(2), 1297–1301. <http://doi.org/10.46548/21vek-2021-1054-0023>
- Troilo, M., Difonzo, G., Paradiso, V. M., Pasqualone, A., & Caponio, F. (2022). Grape pomace as innovative flour for the formulation of functional muffins: How particle size affects the nutritional, textural and sensory properties. *Foods*, 11(12), 1799. <https://doi.org/10.3390/foods11121799>
- Troilo, M., Difonzo, G., Paradiso, V. M., Summo, C., & Caponio, F. (2021). Bioactive compounds from vine shoots, grape stalks, and wine lees: Their potential use in agro-food chains. *Foods*, 10(2), 342. <https://doi.org/10.3390/foods10020342>
- Tucker, J.M., & Townsend, D. M. (2005). Alpha-tocopherol: Roles in prevention and therapy of human disease. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 59(7), 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.bioph.2005.06.005>

# Комплекс технологий для длительного хранения плодов яблок сорта Гала

Федеральный научный центр имени И. В. Мичурина, г. Мичуринск, Российская Федерация

В. А. Гудковский, Л. В. Кожина, Ю. Б. Назаров, А. В. Сутормина

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Владимир Александрович Гудковский  
E-mail: gudkovskiy37@mail.ru

## ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:

данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гудковский, В.А., Кожина, Л.В., Назаров, Ю.Б., & Сутормина, А.В. (2024). Комплекс технологий для длительного хранения плодов яблок сорта Гала. *Хранение и переработка сельхозсыревья*, 32(2), 133-146.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.495>

ПОСТУПИЛА: 19.11.2023

ДОРАБОТАНА: 03.04.2024

ПРИНЯТА: 15.06.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.06.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Обеспечение населения свежими качественными плодами в течение круглого года – это одна из базовых составляющих концепции здорового питания и приоритетное направление исследований по хранению плодов яблони. Сорт Гала пользуется круглогодичным спросом среди населения благодаря высоким потребительским качествам. Существующие технологии хранения в обычной (ОА) и регулируемой атмосфере (УЛО) обеспечивают продление сроков хранения плодов различных сортов до 5–7 месяцев, влияние динамичной регулируемой атмосферы (ДРА) на продолжительность хранения сорта Гала в России – не изучено.

**Цель:** Изучить влияние 4-х существующих (ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП) и 2-х инновационных технологий хранения плодов (ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП) на лежкостойкость плодов яблони сорта Гала для разработки системы круглогодичного хранения плодов.

**Материалы и методы:** Объектом исследования служили плоды яблони сорта Гала, часть плодов обрабатывали 1-МЦП, контрольные и обработанные партии хранили в условиях ОА, УЛО и ДРА, определяли этилен, твердость, потери от заболеваний и повреждений и др.

**Результаты:** Низкий уровень кислорода в атмосфере хранения УЛО и ДРА существенно снижает метаболизм плодов, продлевает сроки хранения при достаточном уровне сохранения качества (твердости), обеспечивает снижение потерь, либо ингибирование развития многих физиологических заболеваний, в т.ч. подкожной пятнистости, по сравнению с условиями хранения в ОА. Условия ДРА обеспечивают продление сроков хранения на 2–3 месяца, по сравнению с УЛО, технология может быть использована при органическом производстве. Технология ДРА+1-МЦП обеспечивает продление сроков хранения до 10 месяцев и более.

**Выводы:** Дифференцированное использование 6 различных технологий хранения (ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП, ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП) определяет возможность обеспечения регулярных поставок плодов сорта Гала в торговые сети на протяжении 10 месяцев и более.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

плоды яблони; Гала; 1-МЦП; ОА; УЛО; ДРА; метаболизм; твердость; физиологические заболевания

# Complex of Technologies for Long-Term Storage of Gala Apples

Federal Scientific Center named after I.V. Michurin, Michurinsk, Russian Federation

Vladimir A. Gudkovskiy, Lyudmila V. Kozhina, Yuri B. Nazarov,  
Alena V. Sutormina

**CORRESPONDENCE:**

Vladimir A. Gudkovskiy

E-mail: gudkovskiy37@mail.ru

**DATA AVAILABILITY:**

Data from the current study are available upon request from the corresponding author.

**FOR CITATIONS:**

Gudkovskiy, V.A., Kozhina, L.V., Nazarov, Yu.B., & Sutormina, A.V. (2024). Complex of technologies for long-term storage of gala apples. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(2), 133-146.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.2.495>

**RECEIVED:** 19.11.2023

**REVISED:** 03.04.2024

**ACCEPTED:** 15.06.2024

**PUBLISHED:** 30.06.2024

**DECLARATION OF COMPETING INTEREST:** none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** High-quality fresh fruits all year round is one of the basic components of the concept of healthy nutrition and a priority area of research on the storage of apple fruits. Apple fruits cv. Gala are in year-round demand among the population due to its high consumer qualities. Existing storage technologies in regular (RA) and controlled (ULO) atmosphere provide an extension of storage time of fruits of various cultivars up to 5–7 months; the influence of a dynamic controlled atmosphere (DCA) on the duration of storage of apple fruits cv. Gala has not been studied in Russia.

**Purpose:** To study the influence of 4 existing (RA-control, RA+1-MCP, ULO-control, ULO+1-MCP) and 2 innovative fruit storage technologies (DCA-control, DCA+1-MCP) on the storability of apple fruits cv. Gala to develop a system for year-round fruit storage.

**Materials and Methods:** The apple fruits cv. Gala were the object of the study; some of the fruits were treated with 1-MCP, control and treated lots were stored under RA, ULO and DCA conditions; ethylene content, fruit firmness, losses from diseases, etc. were determined.

**Results:** A low level of oxygen in the storage atmosphere of ULO and DCA significantly reduces the metabolism of fruits, extends storage period with a sufficient level of quality preservation (firmness), reduces or inhibits losses from many physiological diseases, including bitter pit, compared with RA storage conditions. DCA conditions provide an extension of storage duration by 2–3 months, compared to ULO; the technology can be used in organic production. The DCA+1-MCP technology ensures an extension of effective storage period to 10 months or more.

**Conclusion:** The differentiated use of 6 different storage technologies (RA, RA+1-MCP, ULO, ULO+1-MCP, DCA, DCA+1-MCP) determines the possibility of ensuring regular supplies of apple fruits cv. Gala to retail chains throughout 10 months or more.

## KEYWORDS

apple fruits; Gala; 1-MCP; RA; ULO; DCA; metabolism; fruit firmness; physiological diseases

## ВВЕДЕНИЕ

Яблоня (*Malus × domestica Borkh.*) относится к числу самых распространенных плодовых культур в мире. Более 63 стран производят яблоки в широком спектре условий выращивания с использованием большого количества сортов (Forsline et al., 2003; Mditshwa et al., 2018). Плоды яблони являются богатым источником витаминов, антиоксидантов, минеральных веществ и других БАВ (Musacchi & Serra, 2018; Thewes et al., 2015, 2018), в связи с чем занимают важное место в рационе питания человека. Обеспечение населения свежими качественными плодами в течение круглого года — это одна из базовых составляющих концепции здорового питания. В связи с этим формирование системы производства, хранения и доведения до потребителя высококачественной плодовой продукции является стратегически важной задачей отрасли садоводства.

Государственная поддержка развития садоводства, а также природно-климатические условия Центрального, Южного и Северо-Кавказского федерального округа (ЦФО, ЮФО и СКФО) позволяют выращивать лучшие сорта яблони мировой коллекции с высоким уровнем качества, что обеспечивает равнозначное импортозамещение продукции на рынках РФ, спрос на которую обусловлен постоянной потребностью населения в свежих высококачественных плодах (Гудковский и соавт., 2019b, 2020a). Одним из таких сортов является промышленный сорт Гала и его клоны, пользующиеся круглогодичным спросом среди потребителей благодаря высоким вкусовым и ароматическим качествам, окраске и консистенции плодов (Both et al., 2017; Thewes et al., 2015, 2019). Плоды данного сорта отечественного производства вполне конкурентоспособны и не уступают импортным плодам по окраске, калибру, вкусовым и ароматическим свойствам. Тем не менее, при хранении плодов сорта Гала производители часто сталкиваются с проблемой ограничения сроков хранения продукции (5–6 месяцев) из-за потери качества (снижения твердости, мучнистости), побурения мякоти, подкожной пятнистости, увядания, маслянистости кожицы, растрескивания, грибной гнили в области плодоножки и др. (Argenta et al., 2023; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019), что обуславливает актуальность совершенствования существующих и разработки новых интеллектуальных технологий хранения плодов сорта Гала.

Разработкой прогрессивных методов хранения плодов, ягод и других культур уже более 40 лет занимаются ученые Федерального научного центра И.В. Мичурина. За этот период выявлены причины развития основных физиологических заболеваний плодов при хранении (загар, подкожная пятнистость, низкотемпературные заболевания, внешние и внутренние CO<sub>2</sub> повреждения и др.) и разработан комплекс мер борьбы с ними, разработаны высокоточные условия хранения в обычной и регулируемой атмосфере с ультразвуком содержанием кислорода (1,0–1,5%) для плодов более 50 сортов яблони, что позволило значительно сократить потери и продлить сроки хранения (Гудковский и соавт., 2019b, 2020a). В настоящее время наиболее эффективной и широко внедренной в производство технологией является хранение плодов яблони в регулируемой атмосфере с ультразвуком содержанием кислорода (УЛО) в сочетании с послеуборочной обработкой ингибитором этилена 1-МЦП.

Данная технология, разработанная учеными ФНЦ им. И.В. Мичурина совместно с сотрудниками ООО «Фитомаг-Интер», успешно применяется во многих крупных садоводческих предприятиях России, Молдавии, Казахстана, Азербайджана, Белоруссии, позволяя эффективно хранить плоды многих зимних сортов яблони в течение 6–9 месяцев. Однако технология УЛО+1-МЦП не исключает риски развития физиологических заболеваний при хранении, в частности не гарантирует защиту от подкожной пятнистости, загара и других заболеваний у отдельных сортов и партий. Кроме того, послеуборочная обработка плодов 1-МЦП может усиливать развитие диффузного побурения кожицы, внешних и внутренних CO<sub>2</sub>-повреждений, низкотемпературного разложения и др. (DeEll et al., 2022; DeLong et al., 2004; de Freitas & Pareek, 2019; Mattheis et al., 2017; Saltveit, 2003; Tran et al., 2015).

В последнее время многообещающие перспективы для длительного хранения приобретает принципиально новая технология, получившая название динамичная регулируемая атмосфера (ДРА). Хранение в ДРА, в отличие от статической системы УЛО, нацелено на снижение кислорода до минимально допустимого для плодов уровня (без нарушения обменных процессов, приводящих к развитию опосредованных повреждений), динамически адаптируя его концентрацию на основе меняющейся физиологической реакции плодов (Bessemans et al.,

2016; Gasser et al., 2010; Prange et al., 2011; Schultz et al., 2023; Weber et al., 2020). Технология хранения в ДРА способствует лучшему сохранению качества продукции, позволяет минимизировать, а иногда и практически исключать развитие физиологических расстройств при хранении (поверхностный загар, подкожная пятнистость и др.). Особый интерес ДРА представляет в качестве альтернативы химической обработке плодов 1-МЦП (Prange et al., 2011, 2013), поскольку современные тенденции в области потребления свежей плодово-овощной продукции диктуют необходимость исключения (при органическом производстве), либо минимизации химической нагрузки на плоды в послеуборочный период.

Цель текущего исследования — изучить влияние 4-х существующих (ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП) и 2-х инновационных технологий хранения плодов (ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП) на лежкоспособность плодов яблони сорта Гала для разработки системы круглогодичного хранения плодов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

Плоды яблони сорта Гала.

### Материалы

Для исследований использовали плоды промышленных насаждений ООО «Сады Ставрополья» (Ставропольский край), 2018 года посадки, подвой М-9 (карлик), схема посадки 4×1 м, сплошное залужение междуурядий, капельное орошение, почвы — чернозем южный, легкосуглинистый.

При съеме 24.08.2021 твердость плодов составляла 8,7 кг/см<sup>2</sup>, индекс йодкрахмальной пробы (ЙКП) — 6,1 балл, эндогенный этилен — 2,6 ppm, сумма среднесуточных температур в предуборочный период (август) составляла 747,1 °C, количество осадков — 94,3 мм, ГТК = 1,26. При съеме 18.08.2022 и 25.08.2022 гг. твердость плодов составляла 9,2 и 7,4 кг/см<sup>2</sup>, индекс ЙКП — 5,7 и 7,1 балл, эндогенный этилен — 1,0 и 33,5 ppm, соответственно, сумма среднесуточных температур в предуборочный период (август) составляла 756,4 °C, количество осадков — 26,3 мм, ГТК = 0,35.

### Оборудование

Хранение плодов осуществляли в лабораторном комплексе, созданном ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» совместно с PLAWI «Plattenhardt+WirthGmbH» (Германия) и её дочерней компанией «ПЛАВИ-Сервис» (Россия), с экспериментальными камерами объемом 0,9 м<sup>3</sup>, возможностью автоматического управления и контроля параметров в каждой камере (Система «ПЛАВИ-Сервис», 2020 г). Система «ПЛАВИ-Сервис» включает устройство для охлаждения УУ-УВ-С-VZH028G-B1W1C1(1S)G1(1T), генератор азота UP1-4, адсорбер CO<sub>2</sub> — USC20, шкаф управления, программное обеспечение. Для обеспечения ДРА использовали датчики флюoresценции хлорофилла (ДРА<sup>CF</sup>, BESSELING GROUP, Нидерланды).

Содержание этилена в тканях плода (эндогенный) — определяли на газовом хроматографе с пламенно-ионизационным детектором (GC-2014, SHIMADZU, Япония).

Содержание α-фарнезена и продуктов его окисления (КТ<sub>281</sub>) в кутикуле кожицы плодов — определяли на спектрофотометре (UV-1800, SHIMADZU, 2018 г., Япония).

Твердость плодов, кг/см<sup>2</sup> — измеряли penetрометром FT-327, 2014 г, Италия.

### Инструменты

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с использованием метода дисперсионного анализа (Доспехов, 1979).

### Методы

Содержание эндогенного этилена, ppm — определяли газахроматографически (Ракитин, 1986, с. 403–413). Извлечение этилена из атмосферы межклетников плодов проводили при разрежении около 650 мм рт. ст. в течение 1 мин., используя специальное устройство (Ракитин, 1986, с. 403–413), образец газа вводили в хроматограф.

Содержание α-фарнезена и продуктов его окисления (КТ<sub>281</sub>) в кутикуле кожицы плодов, нмоль/см<sup>2</sup> — определяли в свежих полосках кожицы теневой

стороны плода. Диски кожицы известной площади погружали в гексан на 6 мин. Спектры поглощения гексановых экстрактов регистрировали на спектрофотометре (Морозова, 1980, с. 107–112).

Твердость плодов, кг — измеряли пенетрометром FT-327 с 11 мм плунжером для яблок. С противоположенных сторон экваториальной области 10 плодов после снятия кожуры проводилось два измерения.

Индекс ИКП определяли визуально на поперечном срезе 10 плодов по 10-балльной шкале после погружения половинок в раствор Люголя<sup>1</sup>.

Физиологические заболевания определяли визуально, выражали в процентах от общего числа плодов.

## Процедура исследования

После съема (ООО «Сады Ставрополья», Ставропольский край) плоды сорта Гала в течении 3 ч загружали в авторефрежератор, за 20–24 ч при  $T = +10\ldots12^{\circ}\text{C}$  доставляли в ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина», г. Мичуринск. Обработку части плодов ингибитором биосинтеза этилена 1-МЦП (препарат Фитомаг, Россия) проводили на 2 день после съема, концентрация действующего вещества в атмосфере составляла 0,8 ppm, продолжительность обработки — 24 ч.

На 3 день после съема контрольные и обработанные партии плодов размещали в камеры с различными условиями хранения (варианты опыта):

- (1) Контроль (плоды без обработки 1-МЦП), хранение плодов в условиях обычной атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{CO}_2 = 0,03\%$ ,  $\text{O}_2 = 21\%$ ) — К + ОА;
- (2) Обработка 1-МЦП, хранение плодов в условиях обычной атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{CO}_2 = 0,03\%$ ,  $\text{O}_2 = 21\%$ ) — О + ОА;
- (3) Контроль, хранение плодов в условиях регулируемой атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{O}_2 = 1,2\%$ ,  $\text{CO}_2 = 0,8\ldots1\%$ ) — К + УЛО;
- (4) Обработка 1-МЦП, хранение плодов в условиях регулируемой атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{O}_2 = 1,2\%$ ,  $\text{CO}_2 = 0,8\ldots1\%$ ) — О + УЛО;
- (5) Контроль, хранение плодов в условиях динамичной регулируемой атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{O}_2 < 1\%$ ,  $\text{CO}_2 = 0,8\ldots1\%$ ) — К + ДРА;

- (6) Обработка 1-МЦП, хранение плодов в условиях динамичной регулируемой атмосферы ( $T = +1^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{O}_2 < 1\%$ ,  $\text{CO}_2 = 0,8\ldots1\%$ ) — О + ДРА.

На хранение по каждому варианту закладывали по 4 ящика плодов массой 10–11 кг.

Влияние условий хранения на качество плодов оценивали по твердости мякоти, содержанию этилена,  $\alpha$ -фарнезена и продуктов его окисления (КТ<sub>281</sub>), потерям от физиологических и грибных заболеваний.

Показатели оценки физиологического состояния плодов определяли при съеме, в процессе хранения (4–5 месяцев), после окончания хранения (8–9 месяцев хранения), при доведении до потребителя (жизнь на полке) в условиях  $+20^{\circ}\text{C}/10$  дней, индекс ИКП — при съеме.

Потери от подкожной пятнистости (ПП), коричневой пятнистости, гнили в области плодоножки и др. определяли при хранении (4–5 месяцев), после 8–9 месяцев хранения, при доведении до потребителя ( $+20^{\circ}\text{C}/10$  дней).

## Анализ данных

Для оценки различий влияния условий хранения на показатели качества использовали статистическую обработку экспериментальных данных с использованием метода оценки разности между средними по наименьшей существенной разности (НСР) при 5% уровне значимости (Доспехов, 1979).

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Гала — сорт осенне-зимнего срока созревания (2–3 декада августа — 1 декада сентября). Выведен в Новой Зеландии путём скрещивания сортов Kidd's Orange X Golden Delicious. Мякоть плодов светло-желтая, хрустящая, сочная, ароматная, кисловато-сладкого вкуса, кожица тонкая. Из-за высокого коммерческого спроса получает распространение в ЮФО и ЦФО РФ. Существует множество клонов сорта: Гала Шнига, Гала Мемо, Mondial Gala, Royal Gala, Gala Galaxy,

<sup>1</sup> Generic Starch-Iodine Index Chart for Apples [Электронный ресурс]. <https://blog-fruit-vegetable-ipm.extension.umn.edu/2018/08/check-apple-ripeness-with-starch-iodine.html>

Jugala, Annaglo, Galaval, Gala Must и др., которые отличаются сроками созревания, оттенками вкуса, окраской плодов и др. Селекционеры время от времени предлагают новые клонды, более интересные с позиции маркетинга.

Снижение качества плодов сорта Гала связано с потерей твердости, появлением мучнистости, увяданием, под кожной пятнистостью, растрескиванием и загниванием плодов в области плодоножки, внутренним побурением, распадом от старения и др. (Argenta et al., 2023; de Freitas & Pareek, 2019), аналогичные данные получены и в наших исследованиях.

## ОА-контроль

Известно, что в условиях ОА-контроль единственным фактором, способствующим снижению интенсивности дыхания, является пониженная температура (Гудковский, 1978; Гудковский и соавт., 2019b; Thompson et al., 2018), которая обеспечивает продление сроков хранения при сохранении качества на ограниченном временном интервале, зависящем прежде всего от генотипа сорта и других предуборочных факторов. Чаще всего минимальными сроками хранения в ОА отличаются плоды летних (от нескольких недель до 3–4 месяцев), а максимальными (до 4–8 месяцев) – зимних сортов яблони (Франчук, 1986).

На примере плодов осеннего сорта Гала урожая 2021 и 2022 гг. показано, что низкая температура (+1 °C) при обычном составе атмосферы хранения ( $O_2 = 21\%$ ,  $CO_2 = 0,03\%$ ) не обеспечивала значимого и пролонгированного ингибиования метаболизма плодов, что проявлялось уже в течение первых 4–5 месяцев хранения в накоплении эндогенного этилена до 230–490 ppm (в зависимости от партии), сопровождалось снижением твердости плодов при хранении, и, в большей степени в условиях доведения до потребителя (+20 °C/7–10 дней) – до  $\leq 5 \text{ кг см}^2$ , что способствовало снижению дегустационной оценки продукции и ограничивало возможность реализации партий сорта Гала в торговых сетях (Таблицы 1, 2). Вероятно, высокий уровень кислорода (21%), необходимый для биосинтеза этилена (от 1-аминоциклогексан-1-карбоновой кислоты к этилену) способствовал активному накоплению гормона в плодах (Adams & Yang, 1979) и опосредованным процессам их созревания и старения.

Проблемой сорта Гала в годы с большим количеством осадков, высокой влажностью воздуха, резкими перепадами влажности воздуха и почвы в предуборочный период является растрескивание плодов в области плодоножки, что отмечается как нашими, так и зарубежными исследователями и практиками (de Freitas & Pareek, 2019). Развитие повреждения обусловлено интенсивным увеличением клеток

**Таблица 1**

Влияние условий и сроков хранения на биохимические и другие показатели качества плодов сорта Гала (2021 г.)

Условия хранения	Твердость $\text{кг/см}^2$	Этилен, ppm	$\alpha$ -фарнезен нмоль/ $\text{см}^2$	$KT_{281}$	Гниль у плодоножки/ всего, %	ПП, %	Коричневая пятни- стость, %
5 месяцев хранения							
Контроль ОА	7,0/6,1	244,7	3,8	0,7	12,3/13,7	0	0
1-МЦП + ОА	7,4/7,1	2,5	3,1	0,5	13,9/13,9	0	2,8
HCP <sub>05</sub>	0,3/0,4	28,2	1,2	0,4	-	-	-
9 месяцев хранения							
Контроль ОА	6,6/4,0	152,5	8,2	6,7	11,7/24,7	0	0
1-МЦП + ОА	7,3/6,0	13,2	9,0	4,5	15,5/23,0	0	2,8
Контроль УЛО	7,3/5,5	1,9	12,4	2,3	1,8/4,3	0	0
1-МЦП + УЛО	7,8/7,4	0,4	6,3	1,3	4,5/5,2	0	0
Контроль ДРА	7,5/7,2	0,9	7,7	1,2	3,1/5,1	0	0
1-МЦП + ДРА	8,0/7,5	0,3	7,9	1,2	2,5/4,0	0	0
HCP <sub>05</sub>	0,4/0,4	18,4	2,8	0,6	-	-	-

Примечание. \* значение показателя при хранении/значение показателя после 10 дней при +20 °C.  
ПП – под кожной пятнистостью.

под кожного слоя при ограниченных возможностях растяжения клеток кожицы. В условиях ОА высокий уровень метаболизма (Гудковский и соавт., 2019b; Thompson et al., 2018), а значит, и темпы старения плодов способствуют разрушению клеточной структуры, ослабляют устойчивость к грибной инфекции, особенно в местах разрыва тканей. В результате возможен высокий уровень потерь от гнили в области плодоножки, усугубляет проблему избыточное увлажнение в предуборочный период (Гудковский, 1978; Дементьева & Выгонский, 1988; Кудряшова, 1986). Так, на плодах сорта Гала урожая 2021 г., когда количество осадков в предуборочный период (август) составило 94,3 мм, ГТК = 1,26 (Ставропольский край, Ставрополье), что соответствовало избыточному увлажнению, потери от гнили в области плодоножки через 4–5 месяцев хранения достигали 12,3%, в годы с ГТК = 0,35 (2022 г.) потери от таких заболеваний

отмечались на единичных плодах, не превышали 2% (Таблицы 1, 2).

Неоправданное продление сроков хранения (до 9 месяцев) сорта Гала в условиях ОА-контроль увеличивает общие потери от грибных заболеваний: существенно в 2022 г., критично — в 2021 г. (до 3,8 и 24,7% соответственно) при низких значениях твердости, что указывает на необходимость ограничения сроков хранения продукции.

Особенностью сорта Гала является возможность сильного увядания плодов, которое чаще всего начинается в области плодоножки, наиболее активно проявляется в ОА (до 50% и более, степень проявления от слабой до высокой) уже через 3–5 месяцев хранения, что резко снижает товарное качество продукции. По всей вероятности, развитию расстрой-

**Таблица 2**

Влияние условий и сроков хранения на биохимические и другие показатели качества плодов сорта Гала (2022 г.)

Условия хранения	Твердость кг/см <sup>2</sup>	Этилен, ppm	$\alpha$ -фарнезен	КТ <sub>281</sub> нмоль/см <sup>2</sup>	Гниль у пло- до-ношки/всего, %	ПП, %	Коричневая пятнистость %
Гала Шнига (ЮФО), д.с. 18.08.22. 4 месяца хранения							
Контроль ОА	5,0/4,7	491,6	29,3	4,3	0/0,5	5,8	0
1-МЦП + ОА	6,8/6,4	8,5	16,2	4,2	0/1,2	1,2	6,1
HCP <sub>05</sub>	0,4/0,4	56,2	12,4	0,2	-	-	-
9 месяцев хранения							
Контроль ОА	4,8/4,5	340,3	16,2	5,5	0,2/1,0	7,0	0
1-МЦП + ОА	6,8/6,0	80,9	16,9	5,1	0,3/4,0	1,2	6,1
Контроль УЛО	6,8/6,0	32,6	15,1	3,0	0,4/1,0	0	0
1-МЦП + УЛО	7,3/7,3	0,65	3,5	0,5	0,7/0,7	0	0
Контроль ДРА	7,3/7,3	0,1	4,9	0,7	0,3/1,1	0,2	0
1-МЦП + ДРА	7,6/7,6	0,04	3,0	0,5	0/0,7	0	0,3
HCP <sub>05</sub>	0,2/0,4	24,6	4,8	0,2	-	-	-
Гала Мемо (ЮФО), д.с. 25.08.22. 4 месяца хранения							
Контроль ОА	5,3/4,5	229,5	25,3	6,1	0/1,2	3,1	0
1-МЦП + ОА	6,0/5,8	5,9	18,2	8,3	0/1,8	1,2	2,6
HCP <sub>05</sub>	0,4/0,4	86,4	6,2	0,6	-	-	-
9 месяцев хранения							
Контроль ОА	4,8/4,2	108,3	18,4	8,1	1,0/3,8	5,1	0
1-МЦП + ОА	5,9/5,5	14,5	12,3	7,6	1,5/4,8	0	3,2
Контроль УЛО	6,0/5,7	9,7	9,4	1,7	1,3/1,3	0	0
1-МЦП + УЛО	6,2/6,0	0,7	5,9	1,4	0,6/0,9	0	0
Контроль ДРА	6,5/6,2	0,3	6,7	1,4	0,4/0,8	0	0
1-МЦП + ДРА	6,9/6,4	0,2	6,0	1,1	0,6/1,1	0	0
HCP <sub>05</sub>	0,4/0,4	56,2	1,2	0,4	-	-	-

Примечание. \* значение показателя при хранении/значение показателя после 10 дней при +20 °C.  
ПП – под кожной пятнистостью.

ства (потери плодами влаги) способствуют высокая интенсивность дыхания и созревания плодов сорта Гала в условиях ОА. Очевидно, что особенности анатомо-морфологического строения кожицы плодов изучаемого сорта, условия ОА с активным воздухообменом, пониженная влажность воздуха способствуют увяданию (Fernández et al., 2016; Paull, 1999). Оптимизация послеуборочных факторов может существенно снизить остроту проблемы.

В результате проведенных исследований при хранении плодов сорта Гала, выращенных в ЮФО РФ (Ставропольский край), выявлены потери от подкожной пятнистости (ПП), поражение плодов заболеванием отмечают исследователи в европейских странах, США, Австралии и др. (Argenta et al., 2023; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019; Thewes et al., 2015). Восприимчивость плодов к подкожной пятнистости определяется генотипом сорта, зависит от комплекса предуборочных факторов (биологических, экологических, агротехнических) и их сочетания (Гудковский и соавт., 2019а; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019).

Из изученных нами партий устойчивость к заболеванию проявляли плоды урожая 2021 г., восприимчивостью к заболеванию отличались плоды урожая 2022 г., что обусловлено погодными условиями предуборочного периода. Вероятно, дефицит влаги и высокие температуры воздуха августа 2022 г. могли спровоцировать появление воздушной засухи, что способствует оттоку Са из плодов в листья и формированию локального дефицита элемента в плодах чаще всего в области чашечки и до экватора (de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019). Воздействие факторов хранения в условиях ОА, способствующих потери влаги и снижению содержания Са в клетках подкожного слоя (активный воздухообмен, пониженная влажность воздуха), увеличивали риски развития расстройства, особенно в восприимчивых партиях, что подтверждают и другие исследователи (Fernández et al., 2016; Paull, 1999). При этом решающим фактором, инициирующим появление окисленных бурых пятен подкожной пятнистости в участках плода с низким адаптационным потенциалом, является высокий уровень кислорода (21%) в атмосфере хранения, который является сильным окислителем и способствует активному протеканию окислительных процессов (Meitha et al., 2020).

Следует отметить, что чаще всего потери от заболевания выше в партиях плодов ранних сроков съема, с пониженным содержанием антиоксидантов — соединений, уровень содержания которых оказывает существенное влияние на восприимчивость к ПП (Гудковский и соавт., 2019а; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019). При съеме 18.08.2022 (ЙКП = 5,7 балла, этилен = 1,0 ppm, твердость 9,2 кг/см<sup>2</sup>) и 25.08.2023 (ЙКП = 7,5 балла, этилен = 33,5 ppm, твердость 7,4 кг/см<sup>2</sup>) потери от заболевания через 4 месяца хранения в условиях ОА-контроль составляли 5,8 и 2,5 %, соответственно (см. таблицы 1, 2). При дальнейшем хранении возможно незначительное увеличение потерь от ПП, степени проявления расстройства, возможно появление разложения от старения, что часто проявляется на плодах с ПП. Оба заболевания связаны с дефицитом Са (de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019) и локализуются в области чашечки, характеризующейся минимальным содержанием элемента, в продвинутой стадии разложение распространяется по всему плоду.

Было установлено, что неоправданное увеличение продолжительности хранения плодов сорта Гала (до 8 и более месяцев) наряду со снижением органолептических характеристик плодов может вызвать побурение мякоти от старения.

Таким образом, в условиях ОА-контроль ( $O_2 = 21\%$ ) активный, мало контролируемый метаболизм плодов способствует увеличению рисков потери твердости, поражению грибной гнилью в области плодоножки, увяданию плодов, максимальному поражению подкожной пятнистостью, побурением мякоти, что ограничивает эффективный срок хранения до 3 месяцев.

## ОА+1-МЦП

Послеуборочная обработка плодов 1-метилциклогепреном ингибирует созревание, обеспечивает защиту от загара, сохранение твердости и др. (Гудковский и соавт., 2019б; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019; Lurie & Watkins, 2012), возможные положительные и отрицательные проявления обработки зависят от генотипа сорта и комплекса предуборочных факторов, что требует изучения.

В наших исследованиях в условиях ОА+1-МЦП ингибирование созревания вследствие обработки отразилось в низком уровне накопления этилена в плодах сорта Гала изучаемых партий. После 4–5 месяцев хранения плодов содержание показателя не превышало 10 ppm, что способствовало сохранению твердости (в пределах 6–7 кг/см<sup>2</sup>) и других органолептических свойств плодов, по сравнению с ОА-контроль.

Обработка 1-МЦП не оказывала значимого влияния на развитие гнили по растрескиванию плодов в области плодоножки, потери от заболевания сравнимы с ОА-контроль (12,3 и 13,9 %, соответственно) и, вероятно, обусловлены разрывом тканей у плодоножки, инфекционной нагрузкой на плод и отсутствием факторов, ингибирующих ее развитие.

Выявлены и негативные особенности влияния 1-МЦП на качество плодов сорта Гала. В условиях ОА обработка 1-МЦП может усилить степень проявления под кожной пятнистости: вокруг очага с ПП формируется сухое, темно-коричневое, слегка вдавленное пятно как на интенсивно окрашенной, так и на менее окрашенной, либо неокрашенной стороне плода (коричневая пятнистость), что либо не влияет, либо увеличивает потери от заболевания, но всегда существенно ухудшает внешний вид продукции. Аналогичные проявления обработки 1-МЦП на плодах сорта Гала отмечают и другие исследователи (de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019).

В наших исследованиях максимальные потери от коричневой пятнистости (также как и от ПП) отмечены на плодах урожая 2022 г. ранних сроков съема (18.08). Потери от заболевания в контрольных и обработанных партиях составляли 0 и 6,1% соответственно, при общих потерях от ПП-опосредованных заболеваний (под кожной пятнистостью + коричневая пятнистость) – 5,8 и 7,3% соответственно (таблица 2). Т.е. коричневая пятнистость в условиях ОА без обработки 1-МЦП чаще всего не встречается. Вероятно, препарат 1-МЦП, являясь химическим стрессором, усиливает влияние предуборочных и послеуборочных стресс-факторов, действующих на группы клеток/участки тканей плода с низким адаптационным потенциалом, что усиливает развитие ПП и проявляется в более заметных дефектах кожиц (коричневой пятнистости) по сравнению с необработанными партиями.

Очевидно, что обработка 1-МЦП в условиях ОА несколько сдерживала, но не защищала плоды сорта Гала от увядания и грибных гнилей (в том числе в области плодоножки), возможно несколько отодвигала сроки проявления заболеваний. Увеличение продолжительности хранения до 8 и более месяцев может вызвать побурение мякоти от старения.

Условия ОА+1-МЦП ( $O_2 = 21\%$ ) способствовали замедлению метаболизма, ингибированию процессов созревания и старения плодов, сохранению твердости, как на этапе хранения, так и в условиях доведения до потребителя, но не снижали потери от ПП в восприимчивых партиях (ранний срок съема, молодой сад, низкий урожай и др.), возможно увеличение потерь от коричневой пятнистости, что существенно снижает качество продукции. Сроки эффективного хранения партий плодов, устойчивых к ПП, составляют до 5 месяцев, для восприимчивых к заболеванию партий целесообразна максимально быстрая реализация продукции.

## УЛО-контроль

Низкий уровень  $O_2$  в условиях УЛО (1,2 %) снижает интенсивность дыхания и выработку этилена, поддерживая качество и продлевая срок хранения климактерических плодов (Both et al., 2017), обеспечивает снижение потерь от под кожной пятнистости (Гудковский и соавт., 2019а, 2020б; de Freitas & Mitcham, 2012; de Freitas & Pareek, 2019). Высокий уровень  $CO_2$  ингибирует интенсивность дыхания, а также синтез и действие этилена, сдерживающая созревание и старение плодов (Alsmairat et al., 2011; de Freitas & Pareek, 2019; Thompson et al., 2018). При этом каждый сорт отличается реакцией на воздействие различных уровней  $O_2$  и  $CO_2$ , что требует проведения целенаправленных исследований.

В нашем эксперименте, на протяжении длительного периода (9 месяцев) условия с низким содержанием кислорода в атмосфере хранения (1,2 %) сдерживали накопление этилена до 10–32 ppm (в плодах урожая 2022 г.), до 1,3 ppm (в плодах урожая 2021 г.), по сравнению с ОА-контроль (>200 ppm), при твердости 6–7 кг/см<sup>2</sup> при хранении и высоких рисках ее снижения в условиях доведения до потребителя.

У плодов сорта Гала условия УЛО-контроль способствовали исключению потерь от ПП (0%), кратному снижению потерь от грибных гнилей (в т.ч. в области плодоножки), по сравнению с ОА-контроль. В партии от 24.08.2021 г. потери от микробиологических заболеваний составляли 1,8 и 24,7% соответственно, что, вероятно, обусловлено сохранением клеточной структуры и сдерживанием развития гнили при низкокислородном хранении (Гудковский и соавт., 2020а; de Freitas & Pareek, 2019). Неоправданное увеличение продолжительности хранения плодов сорта Гала (до 8 и более месяцев) наряду со снижением органолептических характеристик плодов может вызвать побурение мякоти от старения.

Риски снижения твердости, других органолептических характеристик плода (вкус, сочность, свежесть), появления побурения мякоти при хранении и доведении до потребителя ограничивают эффективные сроки хранения плодов в условиях УЛО-контроль до 5–6 месяцев.

## УЛО+1-МЦП

Технология хранения плодов в условиях УЛО+1-МЦП является наиболее распространенной, обеспечивает защиту от загара, сохранение твердости и продление сроков хранения многих сортов яблони, возможно проявление индивидуальных реакций (DeEll et al., 2022; DeLong et al., 2004; de Freitas & Pareek, 2019; Mattheis et al., 2017; Saltveit, 2003; Tran et al., 2015;), что требует последовательного изучения.

В наших исследованиях послеуборочная обработка 1-МЦП усиливала ингибирующее влияние низкокислородного хранения ( $O_2 = 1,2\%$ ) на созревание плодов осеннеого сорта Гала, что проявилось после 9 месяцев хранения в очень низком содержании этилена (до 1 ppm) и высокой (для сорта) твердости ( $> 6\text{--}7 \text{ кг}/\text{см}^2$ ), которая сохранялась и при доведении до потребителя.

Условия УЛО+1-МЦП не оказывали существенного влияния на развитие грибных заболеваний, потери от которых при низкокислородном хранении (УЛО, ДРА) не превышали 2 %.

В условиях УЛО+1-МЦП из-за низкого уровня, либо отсутствия потерь от ПП в изучаемых партиях потери от коричневой пятнистости не обнаружены.

Основным преимуществом технологии УЛО+1-МЦП является несколько более высокий уровень сохранения твердости при хранении и более значимый — при доведении до потребителя, по сравнению с УЛО-контроль. Значение показателя в партии плодов от 24.08.2021 г. через 9 месяцев хранения составляло 7,8 и 7,3  $\text{кг}/\text{см}^2$ , при доведении до потребителя — 7,4 и 5,5  $\text{кг}/\text{см}^2$ . Аналогичные тенденции прослеживались в большинстве изучаемых партий сорта Гала. Однако, в партии плодов с продвинутой степенью зрелости (25.08.2022 г.) в условиях УЛО+1-МЦП твердость плодов при хранении находилась в пределах 6  $\text{кг}/\text{см}^2$ , что чаще всего сопровождалось низкой дегустационной оценкой и ограничивало возможность реализации партии через торговые сети, что подтверждает целесообразность длительного хранения плодов, снятых в оптимальные сроки.

Таким образом, условия УЛО+1-МЦП ( $O_2 = 1,2\%$ ) обеспечивали минимизацию/исключение потерь от подкожной пятнистости, снижение потерь от грибных гнилей (в т.ч. в области плодоножки), высокий уровень сохранения твердости при хранении и доведении до потребителя, сохранение других качественных характеристик плодов оптимального срока съема в течение 8 месяцев и более.

## ДРА-контроль

Появление в последнее десятилетие новой технологии хранения плодов в условиях ДРА с минимально допустимым содержанием кислорода придало импульс к проведению исследований по выявлению ее влияния на качество и продолжительность хранения плодов (Bessemans et al., 2016; Gasser et al., 2010; Prange et al., 2011, 2013; Schultz et al., 2023; Weber et al., 2020 и др.).

По данным зарубежных исследователей ДРА-технология максимально ингибирует интенсивность дыхания и созревания, обеспечивает высокий уровень сохранения качества и продление сроков хранения плодов многих сортов яблони, возможно развитие опосредованных повреждений (Bessemans et al., 2016; de Freitas & Pareek, 2019; Prange et al., 2011, 2013; Weber et al., 2020). Исследования по изучению влияния ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП на лежкоспособность плодов сорта Гала в России проводятся впервые.

Было показано, что низкокислородное хранение в ДРА ( $O_2 < 1\%$ ) минимизировало накопление этилена в плодах сорта Гала всех изучаемых партий раннего и позднего сроков съема урожая 2021 и 2022 гг. Содержание показателя после 9 месяцев хранения составляло не более 0,9 ppm, что сопоставимо, либо несколько ниже по сравнению с УЛО+1-МЦП, значительно ниже по сравнению с УЛО-контроль. Ингибирирование метаболизма плодов и стабилизация физиологического состояния на этом уровне обеспечивали сравнимый с УЛО+1-МЦП, но более высокий по сравнению с УЛО-контроль уровень сохранения твердости и высокую дегустационную оценку плодов сорта Гала при хранении и доведении до потребителя.

Низкокислородное хранение (УЛО, ДРА) обеспечивало исключение, либо минимизацию потерь от ПП (0,4 %) по сравнению с ОА (Таблицы 1, 2), что, вероятно, связано с ингибирированием реакций свободно-радикального окисления в условиях ДРА и повышением уровня некоторых анаэробных метаболитов (этанол и др.), содержащих развитие расстройства (Mattheis et al., 2017).

Увеличение продолжительности хранения в условиях ДРА-контроль до 11 и более месяцев может вызвать побурение мякоти от старения.

Условия ДРА-контроль ингибирировали развитие грибных заболеваний (за счет сохранения клеточной структуры и ее устойчивости к проникновению инфекции), потери от которых при низкокислородном хранении (УЛО, ДРА) не превышали 2 %.

Важным дополнительным активом технологии ДРА-контроль по сравнению с УЛО+1-МЦП при сопоставимых биохимических и качественных показателях является отсутствие химических обработок в послеуборочный период, что приветствуется потребителями, выгодно производителям (из-за более высокой цены продукта), определяет перспективность промышленного использования технологии. Эффективные сроки хранения плодов сорта Гала в условиях ДРА-контроль могут быть увеличены до 8 месяцев и более, что для осеннеого сорта является большим достижением.

## ДРА+1-МЦП

Послеуборочная обработка 1-МЦП в сочетании с низкокислородным хранением ( $O_2 < 1\%$ ) обеспечила максимально глубокое ингибирирование метаболизма плодов, что проявлялось в предельно низком (0,04–0,3 ppm), сравнимом с УЛО+1-МЦП и ДРА-контроль, либо более низком уровне содержания этилена после 9 месяцев хранения. Вероятно, контроль метаболизма условиями ДРА+1-МЦП обеспечил максимальный из изученных технологий уровень сохранения твердости при хранении и в условиях +20 °C/10 дней для партий сорта Гала с различной степенью зрелости при съеме, что является определенным преимуществом технологии.

В результате подавления предельно низким содержанием кислорода (условия ДРА) развития ПП единичные плоды, пораженные заболеванием (0,2 %), были обнаружены лишь в партии раннего срока съема (18.08.2022 г.), обработка 1-МЦП вызвала поражение единичных плодов коричневой пятнистостью (0,3 %), что не оказалось негативного влияния на качество всей партии.

Условия низкокислородного хранения ДРА+1-МЦП ( $O_2 < 1\%$ ), как и ДРА-контроль, способствовали кратному снижению потерь от грибных гнилей (в т.ч. в области плодоножки), по сравнению с ОА+1-МЦП, при сравнимых с УЛО+1-МЦП показателях. В восприимчивой партии (от 24.08.2021 г.) потери от заболевания в условиях ДРА+1-МЦП, ДРА-контроль, УЛО+1-МЦП и ОА+1-МЦП составляли 2,5, 3,1, 4,5 и 15,5 % соответственно, что обусловлено повышением устойчивости тканей к развитию микробиологических заболеваний в условиях низкокислородного хранения.

Условия ДРА+1-МЦП в разные годы (2021–2022 гг.) даже при длительных сроках хранения (11 месяцев) у всех изученных партий обеспечивают максимальный контроль внутреннего побурения плодов.

В результате проведенных исследований было выявлено, что в условиях УЛО+1-МЦП и ДРА+1-МЦП сочетание низкого и минимально допустимого содержания кислорода соответственно, и обработки 1-МЦП, ингибирует развитие их органолептических характеристик (вкус, аромат)

по сравнению с УЛО-контроль, ДРА-контроль, что влияет на восприятие потребителем и является недостатком технологий.

Результаты исследования доказывают, что эффективные сроки хранения плодов осеннеого сорта Гала в условиях ДРА+1-МЦП могут составлять 10 месяцев и более (на уровне зимних сортов), обеспечение таких условий целесообразно только для партий плодов длительного срока хранения с высокой исходной лежкоспособностью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований было изучено влияние 4-х существующих (ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП) и 2-х инновационных технологий хранения плодов (ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП) на лежкоспособность плодов яблони сорта Гала, выявлены их преимущества и недостатки, получены данные для разработки системы круглогодичного хранения плодов.

Установлено, что дифференцированное использование 6 различных технологий хранения определяет возможность обеспечения регулярных поставок плодов осеннеого сорта Гала в торговые сети на протяжении 10 месяцев и более. Эффективные сроки хранения плодов в условиях ОА-контроль, ОА+1-МЦП, УЛО-контроль, УЛО+1-МЦП, ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП составляют 3, 5, 5–6, >8, >8, >10 месяцев соответственно, что требует уточнения в течение нескольких сезонов.

Инициатором проведения исследований по разработке технологий хранения плодов сорта Гала в условиях ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП является крупное садоводческое предприятие ЮФО. Предварительные испытания технологий в модельных (экспериментальных) камерах ФГБНУ ФНЦ им. И.В. Мичурина позволяют избежать ошибок и обеспечат максимальный эффект при масштабировании новых технологий хранения в промышленную практику садоводческих предприятий ЮФО и ЦФО, выращивающих плоды сорта Гала и имеющих соответствующую материально-техническую базу для их хранения.

В результате проведенных исследований, кроме практической составляющей, получены новые знания о механизмах развития под кожной и коричневой пятнистости плодов сорта Гала, которые необходимы для разработки сортовых технологий, обеспечивающих исключение, либо минимизацию потерь от заболеваний.

Изучение влияния экологических, агротехнических факторов, сроков съема на качество, восприимчивость к заболеваниям плодов различных клонов сорта Гала необходимо для корректировки параметров хранения технологий ДРА-контроль, ДРА+1-МЦП и является приоритетным направлением наших дальнейших исследований.

## Благодарности

Выражаем благодарность Ширинову А.Ш. (ООО «Сады Ставрополья», Ставропольский край, ЮФО) — инициатору проведения исследований за активное участие в совместной работе, поставку плодов яблони для ее осуществления.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Гудковский Владимир Александрович:** концептуализация; разработка модели исследования; ресурсное обеспечение; написание, рецензирование и редактирование рукописи.

**Кожина Людмила Владимировна:** разработка модели исследования; проведение исследования; верификация данных; написание, рецензирование и редактирование рукописи.

**Назаров Юрий Борисович:** проведение исследования; верификация данных; рецензирование и редактирование рукописи.

**Сутормина Алена Владимировна:** проведение исследования; верификация данных; рецензирование и редактирование рукописи.

**Давыденко Наталия Ивановна:** верификация, администрирование данных; визуализация; создание рукописи и ее редактирование.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Гудковский, В. А. (1978). *Длительное хранение плодов*. Алма-Ата: Кайнар.
- Gudkovsky, V. A. (1978). *Long-term storage of fruits*. Alma-Ata: Kainar. (In Russ.)
- Гудковский, В. А., Кожина, Л. В., Балакирев, А. Е., & Назаров, Ю. Б. (2019а). Новая технология защиты плодов яблони от подкожной пятнистости и других физиологических заболеваний при хранении. *Садоводство и виноградарство*, (4), 37–44. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-4-37-44>
- Gudkovsky, V. A., Kozhina, L. V., Balakirev, A. E., & Nazarov, Yu. B. (2019a). New technology of protecting apple fruits from bitter pit and other physiological diseases during storage. *Horticulture and Viticulture*, (4), 37–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2019-4-37-44>
- Гудковский, В. А., Кожина, Л. В., Гучева, Р. Б., Сутормина, А. В., & Назаров, Ю. Б. (2020а). Качество плодов районированных и перспективных сортов СКФО в условиях РА. *Вестник Мицуринского государственного аграрного университета*, 2(61), 6–13.
- Gudkovsky, V. A., Kozhina, L. V., Gucheva, R. B., Sutormina, A. V., & Nazarov, Yu. B. (2020a). Fruit quality of zoned and perspective varieties of the North Caucasian Federal District under CA conditions. *Vestnik Mičurinskogo Gosudarstvennogo Agrarnogo Universiteta*, 2(61), 6–13. (In Russ.)
- Гудковский, В. А., Кожина, Л. В., Назаров, Ю. Б., Балакирев, А. Е., & Гучева, Р. Б. (2019b). Высокоточные технологии хранения плодов яблони – основа обеспечения их качества (достижения, задачи на перспективу). *Достижения науки и техники АПК*, 33(2), 61–67. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
- Gudkovsky, V. A., Kozhina, L. V., Nazarov, Yu. B., Balakirev, A. E., & Gucheva, R. B. (2019b). High-precision technologies of storage of apple fruits is the basis for ensuring their quality: Achievements, challenges for the future. *Achievements of Science and Technology in Agribusiness*, 33(2), 61–67. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10215>
- Гудковский, В. А., Кожина, Л. В., Сутормина, А. В., & Назаров, Ю. Б. (2020b). Достижения, проблемы длительного хранения плодов яблони и новые возможности их решения (обзор). *Современное состояние садоводства Российской Федерации, проблемы отрасли и пути их решения* (с. 126–140). Тамбов: ООО «ТПС».
- Gudkovsky, V. A., Kozhina, L. V., Sutormina, A. V., & Nazarov, Yu. B. (2020b). Achievements, problems of long-term storage of apple fruits and new possibilities for solving them (review). *The current state of horticulture in the Russian Federation, problems of the industry and ways to solve them* (pp. 126–140). Tambov: TPS LLC. (In Russ.)
- Дементьева, М. И., & Выгонский, М. И. (1988). *Болезни плодов, овощей и картофеля при хранении*. Москва: Агропромиздат.
- Dementieva, M. I., & Vygonsky, M. I. (1988). *Diseases of fruits, vegetables and potatoes during storage*. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.)
- Достехов, Б. А. (1979). *Методика полевого опыта* (изд. 4-е, перераб. и доп.). Москва: Колос.
- Dospehov, B.A. (1979). *Methodology of field experience* (4th ed., revised and supplemented). Moscow: Kolos. (In Russ.)
- Кудряшова, А. А. (1986). *Микробиологические основы сохранения плодов и овощей*. Москва: Агропромиздат.
- Kudryashova, A. A. (1986). *Microbiological basis for the preservation of fruits and vegetables*. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.)
- Морозова, Н. П. (1980). Спектрофотометрическое определение содержания α-фарнезена и продуктов его окисления в растительном материале. *В Биохимические методы* (с. 107–112). Москва: Наука.
- Morozova, N. P. (1980). Spectrophotometric determination of the content of α-farnesene and its oxidation products in plant material. In *Biochemical methods* (pp. 107–112). Moscow: Science. (In Russ.)
- Ракитин, В. Ю. (1986). Определение газообмена и содержания этилена, двуокиси углерода и кислорода в тканях растений. *Физиология растений*, 33(2), 403–413.
- Rakitin, V. Yu. (1986). Determination of gas exchange and ethylene, carbon dioxide and oxygen content in plant tissues. *Plant Physiology*, 33(2), 403–413. (In Russ.)
- Франчук, Е. П. (1986). *Товарные качества плодов*. Москва: Агропромиздат.
- Franchuk, E. P. (1986). *Commercial qualities of fruits*. Moscow: Agropromizdat. (In Russ.)
- Adams, D. O., & Yang, S. (1979). Ethylene biosynthesis: Identification of 1-amino cyclopropane-1-carboxylic acid as an intermediate in the conversion of methionine to ethylene. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 76(1), 170–174. <https://doi.org/10.1073/pnas.76.1.170>
- Alsmairat, N., Contreras, C., Hancock, J., Callow, P., & Beaudry, R. (2011). Use of combinations of commercially relevant O<sub>2</sub> and CO<sub>2</sub> partial pressures to evaluate the sensitivity of nine highbush blueberry fruit cultivars to controlled atmospheres. *Horticultural Science* 46, 74–79. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.46.1.74>
- Argenta, L. C., Wood, R. M., Mattheis, J. P., Thewes, F. R., Nesi, C. N., & Neuwald, D. A. (2023). Factors affecting development of disorders expressed after storage of 'Gala' apple fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 204, 112439. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112439>
- Bessemans, N., Verboven, P., Verlinden, B., & Nicolai, B. (2016). A novel type of dynamic controlled atmosphere storage based on the respiratory quotient (RQ-DCA). *Postharvest Biology and Technology*, 115, 91–102. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.12.019>
- Both, V., Thewes, F. R., Brackmann, A., de Oliveira Anese, R., de Freitas Ferreira, D., & Wagner, R. (2017). Effects of dynamic controlled atmosphere by respiratory quotient on

- some quality parameters and volatile profile of ‘Royal Gala’ apple after long-term storage. *Food Chemistry*, 215, 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.009>
- DeEll, J. R., Lum, G. B., Mostofi, Y., & Lesage, S. K. (2022). Timing of ethylene inhibition affects internal browning and quality of ‘Gala’ apples in long-term low oxygen storage. *Frontiers in Plant Science*, 13, 914441. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.914441>
- DeLong, J. M., Prange, R. K., & Harrison, P. A. (2004). The influence of 1-methylcyclopropene on ‘Cortland’ and ‘McIntosh’ apple quality following long-term storage. *Hortscience*, 39(5), 1062–1065. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.39.5.1062>
- De Freitas, S. T., & Mitcham, E. I. (2012). Factors involved in fruit calcium deficiency disorders. *Horticultural reviews*, 40, 107–146. <https://doi.org/10.1002/9781118351871>
- De Freitas, S. T., & Pareek, S. (2019). *Postharvest physiological disorders in fruits and vegetables*. Boca Raton: CRC Press.
- Fernández, V., Guzmán-Delgado, P., Graça, J., Santos, S., & Gil, L. (2016). Cuticle structure in relation to chemical composition: Re-assessing the prevailing model. *Frontiers in Plant Science* 7, 427. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00427>
- Forsline, P. L., Aldwinckle, H. S., Dickson, E. E., Luby, J. J., & Hokanson, S. (2003). Collection, maintenance, characterization and utilization of wild apples of Central Asia. *Horticultural Reviews*, 29, 1–61. <https://doi.org/10.1002/9780470650868>
- Gasser, F., Eppler, T., Naunheim, W., Gabioud, S. & Bozzi Nising, A. (2010). Dynamic CA storage of apples: Monitoring of the critical oxygen concentration and adjustment of optimum conditions during oxygen reduction. *Acta Horticulturae*, 876, 39–46. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2010.876.3>
- Lurie, S., & Watkins, C. B. (2012). Superficial scald, its etiology and control, *Postharvest Biology and Technology*, 65, 44–60. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2011.11.001>
- Mattheis, J. P., Rudell, D. R., & Hanrahan, I. (2017). Impacts of 1-methylcyclopropene and controlled atmosphere established during conditioning on development of bitter pit in ‘Honeycrisp’ apples. *Hortscience*, 52(1), 132–137. <https://doi.org/10.21273/HoRTSCI11368-16>
- Mditshwa, A., Fawole, O. A., & Opara, U. L. (2018). Recent developments on dynamic controlled atmosphere storage of apples — A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 16, 59–68. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.01.011>
- Meitha, K., Pramesti, Y. & Suhandono, S. (2020). Reactive oxygen species and antioxidants in postharvest vegetables and fruits. *International Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1155/2020/8817778>
- Musacchi, S., & Serra, S. (2018). Apple fruit quality: Overview on pre-harvest factors. *Scientia Horticulturae*, 234, 409–430. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.12.057>
- Paull, R. E. (1999). Effect of temperature and relative humidity on flesh commodity quality. *Postharvest Biology and Technology*, 15, 263–277. [https://doi.org/10.1016/s0925-5214\(98\)00090-8](https://doi.org/10.1016/s0925-5214(98)00090-8)
- Prange, R. K., DeLong, J. M., & Wright, A. H. (2011). Storage of pears using dynamic controlled-atmosphere (DCA), a non-chemical method. *Acta Horticulturae*, 909, 707–717. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.909.87>
- Prange, R., Wright, A., DeLong, J., & Zanella, A. (2013). A review on the successful adoption of dynamic controlled-atmosphere (DCA) storage as a replacement for diphenylamine (DPA), the chemical used for control of superficial scald in apples and pears. *Acta Horticulturae*, 1071, 389–396. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1071.50>
- Saltveit, M. E. (2003). Is it possible to find an optimal controlled atmosphere? *Postharvest Biology and Technology*, 7(1), 3–13. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00184-9](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00184-9)
- Schultz, E. E., Thewes, F. R., Wendt, L. M., Brackmann, A., Both, V., Ludwig, V., Thewes, Fl. R., Soldateli, F. J., & Wagner, R. (2023). Extremely low oxygen with different hysteresis and dynamic controlled atmosphere storage: Impact on overall quality and volatile profile of ‘Maxi Gala’ apple. *Postharvest Biology and Technology*, 205, 112527. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112527>
- Thewes, F. R., Both, V., Brackmann, A., Weber, A., & de Oliveira Anese, R. (2015). Dynamic controlled atmosphere and ultralow oxygen storage on ‘Gala’ mutants quality maintenance. *Food Chemistry*, 188, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.128>
- Thewes, F. R., Brackmann, A., & Neuwald, D. A. (2019). Dynamics of sugars, anaerobic metabolism enzymes and metabolites in apples stored under dynamic controlled atmosphere. *Scientia Horticulturae*, 255, 145–152. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.05.027>
- Thewes, F. R., Brackmann, A., de Oliveira Anese, R., Ludwig, V., Schultz, E. E., & Bergghetti, M. R. P. (2018). 1-methylcyclopropene suppresses anaerobic metabolism in apples stored under dynamic controlled atmosphere monitored by respiratory quotient. *Scientia Horticulturae*, 227, 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.09.028>
- Tran, D. T., Verlinden, B. E., Hertog, M., & Nicolaï, B. M. (2015). Monitoring of extremely low oxygen control atmosphere storage of ‘Greenstar’ apples using chlorophyll fluorescence. *Scientia Horticulturae*, 184, 18–22. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.11.014>
- Thompson, A. K., Prange, R. K., Bancroft, R., & Puttongsiri, T. (2018). *Controlled atmosphere storage of fruit and vegetables*. (3rd ed.). Boston: CABI.
- Tromp, J., Webster, A. D. & Wertheim, S. J. (2005). *Fundamentals of temperate zone tree fruit production*. Leiden: Backhuys Publishers.
- Weber, A., Neuwald, D. A., Kittemann, D., Thewes, F. R., Both, V., & Brackmann, A. (2020). Influence of respiratory quotient dynamic controlled atmosphere (DCA-RQ) and ethanol application on softening of Braeburn apples. *Food Chemistry*, 303, 125346. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125346>