

# ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬХОЗСЫРЬЯ

Том 32, № 3 | 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 — Косычева 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 «Перспект»

121471, Москва, ул. Рябиновая, 51-А, стр. 1.

Формат 60×84 1/8. Печать офсетная. Бумага офсетная.

Тираж 100 экз. Подписано в печать 30.09.2024. Свободная цена.

© Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), 2024

# STORAGE AND PROCESSING OF FARM PRODUCTS

Vol. 32, No. 3 | 2024

Periodicity of publication — 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 30.09.2024. 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>Абдельмаксуд</b> Тарек Гамаль	доктор пищевых наук, Адъюнкт-профессор Кафедра пищевых наук, Сельскохозяйственный факультет, Каирский университет, Гиза, Египет.
<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>Ансори</b> Ариф Нур Мухаммад	PhD, Доктор ветеринарных наук, научный сотрудник, Университет Айрланга, Сурабая, Индонезия
<b>Ахремчик</b> Олег Леонидович	доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации технологических процессов, Тверской государственной технической университет, г. Тверь, Российская Федерация
<b>Баскаков</b> Иван Васильевич	доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Битюков</b> Виталий Ксенофонтович	доктор технических наук, профессор, Заслуженный деятель науки РФ, Воронежский государственный университет инженерных технологий, 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 овощеводств, 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>Добровольский</b> Виктор Францевич	доктор технических наук, НИИ пищевых концентратной промышленности и специальной пищевой технологии — филиал ФИЦ питания и биотехнологии, г. Москва, 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>Кульнева</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, Федеральное исследовательское учреждение 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. Императора Петра I, г. Воронеж, Российская Федерация
<b>Пасынкова</b> Елена Николаевна	доктор биологических наук, Федеральный исследовательский центр картофеля им. А.Г. Лорха, филиал Ленинградский научно-исследовательский институт 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>Подвигона</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> Тошпулот Файзуллоевич	PhD, Самаркандский государственный университет имени Шарофа Рашидова, 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>Стогниенко</b> Ольга Ивановна	доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт сахарной свеклы и сахара имени А.Л. Мазлумова, г. Воронеж, 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>Храмцов</b> Андрей Георгиевич	доктор технических наук, академик РАН, Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь, 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>Tarek Gamal Abedelmaksoud</b>	PhD of Food Science, Associate Professor, Food Science Department, Faculty of Agriculture, Cairo University, Giza, Egypt
<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>Arif Nur Muhammad Ansori</b>	Doctor, Doctor in Veterinary Sciences, Researcher, Universitas Airlangga, Surabaya, Indonesia
<b>Oleg L. Akhremchik</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Tver State Technical University, Tver, 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>Vitaliy K. Bitjukov</b>	Doctor of Science (Engineering), Professor, Honored Science Worker of the Russian Federation, Voronezh State University of Engineering Technologies, 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>Viktor F. Dobrovoilskiy</b>	Doctor of Science (Engineering), Research Institute of Food Concentrates Industry and Special Food Technology - branch of the Federal Research Centre for Nutrition and Biotechnology, Moscow, 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. Gorbатов 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. Gorbатов, Russian Academy of Science, Moscow, Russian Federation
<b>Eugeny 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. Gorbатов, 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. Pasyunkova</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. Gorbatova, 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>Olga I. Stognienko</b>	Doctor of Science (Biology), Leading Researcher, A.L. Mazlumov All-Russian Research Institute of Sugar Beet and Sugar, Voronezh, 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 Ulrih</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>Andrey G. Khramtsov</b>	Doctor of Science (Engineering), Academician of the Russian Academy of Sciences, North-Caucasus Federal University, Stavropol, Russian Federation
<b>Azret U. Shingisov</b>	Doctor of Engineering, Professor, ), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, Auezov University, Shymkent, Kazakhstan

# СОДЕРЖАНИЕ

## ОТ РЕДАКТОРА

### **Е. В. Тихонова**

Методологическая статья: характеристики, структурные компоненты и требования к содержанию ..... 8

### **М.А. Косычева**

Почему ученым важно иметь ORCID ID? ..... 30

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ХРАНЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

### **Л. Н. Харламова, М. Ю. Синельникова, Д. Ю. Матвеева**

Исследование влияния ультразвуковой обработки на извлечение компонентов свеклы (*Beta vulgaris*) с последующим использованием в напитках брожения ..... 33

### **Б. М. Гусейнова**

Изменение показателей качества черешни из Дагестана в зависимости от способов её замораживания, сроков хранения и сортовой принадлежности ..... 42

## ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ СЕЛЬХОЗПРОДУКЦИИ

### **Д. В. Карпенко, А. Г. Гришин, А. Д. Заграничная, М. Г. Гордюшин, Е. М. Смирнова**

Волновые и полевые воздействия в пищевых технологиях: обзор предметного поля ..... 58

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ВЕЩЕСТВ И ПРОДУКЦИИ АПК

### **М. В. Беляков**

Сравнительный анализ скисания молока методами отражательной инфракрасной спектроскопии ..... 82

### **Е. С. Жиганова, М. К. Садыгова, В. Я. Черных, Н. М. Цетва, Н. С. Соловова, И. А. Осыка**

Комплексная оценка технологических свойств новых сортов пшеницы саратовской селекции для производства макаронных изделий ..... 92

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

### **Е. А. Фиалкова, А. А. Кузин, Е. В. Славоросова, В. Б. Шевчук, В. А. Шохалов**

Интенсификация процесса кристаллизации лактозы из сгущенного НФ-концентрата творожной сыворотки ..... 104

## СЫРЬЕ И ДОБАВКИ

### **Р. Г. Магомедмирзоева, С. А. Теймуров**

Перспективы использования сапропеля для выращивания томатов в условиях открытого грунта предгорной зоны Дагестана ..... 119

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ ПРОДУКЦИИ АПК

### **М. Н. Полисмакова, А. А. Сандуляк, Н. В. Соловьев, Д. А. Сандуляк, А. В. Сандуляк, В. А. Ершова**

Подход к автоматизации и цифровому контролю содержания ферропримесей в пищевых ингредиентах ..... 133

### **А. В. Гулин, В. А. Мачулкина, О. П. Кигашпаева, Л. П. Лаврова**

Влияние ингибитора этилена «Фитомаг» на качество баклажан технической степени зрелости при хранении ..... 143

# CONTENT

## EDITORIAL

**Elena V. Tikhonova**

Methodological Article: Characteristics, Structural Components, and Content Requirements Abstract ..... 9

**Marina A. Kosycheva**

Why Is It Important for Scholars to Have ORCID ID? ..... 29

## THEORETICAL ASPECTS OF FARM PRODUCTS STORAGE AND PROCESSING

**Larisa N. Kharlamova, Marina Yu. Sinelnikova, Daria Yu. Matveeva**

Study on the Effect of Ultrasonic Treatment on the Extraction of Beetroot (*Beta vulgaris*)  
Components for Subsequent Use in Fermented Beverages ..... 34

**Batuch M. Guseynova**

Change in the Quality Indicators of Sweet Cherries from Dagestan Depending on Its Freezing Methods,  
Shelf life and Variability. .... 43

## PHYSICAL AND CHEMICAL METHODS OF FARM RAW MATERIAL PROCESSING

**Dmitry V. Karpenko, Artem G. Grishin, Anna D. Zagranichnaya, Maksim G. Gordjushin, Elizaveta M. Smirnova**

Wave and Field Influences in Food Technologies: A Scoping Review ..... 59

## RESEARCH ON TRAITS OF SUBSTANCES AND AGRIBUSINESS PRODUCTS

**Mikhail V. Belyakov**

Wave and Field Influences in Food Technologies: A Scoping Review ..... 83

**Elena S. Zhiganova, Madina K. Sadygova, Valeriy Ya. Chernykh, Natalia M. Cetva, Nina S. Solovova, Irina A. Osyka**

Comprehensive Assessment of the Technological Properties of New Wheat Varieties  
from the Saratov Selection for Pasta Production. .... 93

## TECHNOLOGICAL PROCESSES, MACHINES AND EQUIPMENT

**Evgenia A. Fialkova, Andrei A. Kusin, Elena V. Slavorosova, Vladimir B. Shevchuk, Vladimir A. Shohalov**

Intensification of the Lactose Crystallization Process from Condensed NF-Curd Whey Concentrate. .... 105

## RAW MATERIALS AND ADDITIVES

**Ramida H. Magomedmirzoeva, Samir A. Teymurov**

Prospects for the Use of Sapropel for Tomatoes Cultivation in Open Ground Conditions  
of the Foothill Zone of Dagestan. .... 120

## CONTROL OVER QUALITY AND SAFETY OF AGRIBUSINESS PRODUCTS

**Maria N. Polismakova, Anna A. Sandulyak, Nikita V. Soloviev, Darya A. Sandulyak, Alexander V. Sandulyak, Vera A. Ershova**

An Approach to Automation and Digital Control of Ferroimpurities in Food Ingredients. .... 134

**Alexander V. Gulin, Vera A. Machulkina, Olga P. Kigashpayeva, Larisa P. Lavrova**

The Influence of the Ethylene Inhibitor "Fitomag" on the Quality of Eggplants of Technical Maturity  
During Storage ..... 144

# Методологическая статья: характеристики, структурные компоненты и требования к содержанию

МГИМО Университет,  
г. Москва, Российская Федерация

Е. В. Тихонова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Елена Викторовна Тихонова  
E-mail: [tikhonova\\_ev@pfur.ru](mailto:tikhonova_ev@pfur.ru)

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Тихонова, Е.В. (2024). Методологическая статья: характеристики, структурные компоненты и требования к содержанию. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 8–28.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.608>

ПОСТУПИЛА: 03.07.2024

ДОРАБОТАНА: 10.09.2024

ПРИНЯТА: 15.09.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Методологические статьи играют ключевую роль в развитии научной практики, предоставляя исследователям ориентиры для разработки, анализа и оптимизации методов исследования. Статья направлена на предоставление авторам структурированного руководства по созданию методологических статей с фокусом на требования к содержанию и структуре.

**Основная часть:** В данной работе изложены рекомендации по ключевым структурным компонентам методологической статьи и содержательным аспектам, важным для обеспечения качества и воспроизводимости. Рассматриваются этапы построения статьи, классификация типов методологических исследований, возможные угрозы валидности и подходы к оценке качества методологических публикаций.

**Выводы:** Эффективное проектирование и анализ методологических исследований требуют строгого соблюдения основных принципов научного конструирования. Статья открывает путь к дальнейшему обсуждению и развитию стандартов для создания методологических публикаций высокого качества.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

методологическая статья; руководство по проведению исследования; структурные компоненты рукописи методологической статьи; воспроизводимость; стандарты отчетности; научные методы



# Methodological Article: Characteristics, Structural Components, and Content Requirements

MGIMO,  
Moscow, Russian Federation

Elena V. Tikhonova

## CORRESPONDENCE:

**Elena V. Tikhonova**

E-mail: [tikhonova\\_ev@pfur.ru](mailto:tikhonova_ev@pfur.ru)

## FOR CITATIONS:

Tikhonova, E. (2024). Methodological article: Characteristics, structural components, and Content Requirements Abstract. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 8–28. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.608>

**RECEIVED:** 03.07.2024

**REVISED:** 10.09.2024

**ACCEPTED:** 15.09.2024

**PUBLISHED:** 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.

## ABSTRACT

**Introduction:** Methodological articles play a key role in advancing scientific practice by providing researchers with guidelines for the development, analysis, and optimization of research methods. This article aims to provide authors with a structured guide for creating methodological papers, with a focus on content and structural requirements.

**Main Body:** This paper outlines recommendations on the essential structural components of a methodological article and content aspects critical to ensuring quality and reproducibility. It addresses stages in the construction of the manuscript, classification of methodological study types, potential validity threats, and approaches to evaluating the quality of methodological publications.

**Conclusion:** Effective design and analysis of methodological studies require strict adherence to fundamental principles of scientific construction. This article paves the way for further discussion and development of standards for creating high-quality methodological publications.

## KEYWORDS

methodological article; research conduct guidelines; structural components of a methodological article; reproducibility; reporting standards; scientific methods



## ВВЕДЕНИЕ

Область метаисследований, представляющая собой направление исследований о методах и практиках научной деятельности, заметно расширилась за последние годы, реагируя на нарастающие проблемы с качеством публикуемых научных работ. Подобные исследования зачастую рассматривают научные публикации как единицы анализа, либо фокусируются на структурных компонентах определённых научных жанров, позволяя выявить закономерности и проблемы на уровне формата научного сообщения. Одним из ведущих направлений метаисследований стало стремление к выявлению и устранению методологических недостатков, что включает детальное рассмотрение этапов дизайна исследований, процесса их проведения, способов анализа данных и отчетности о результатах.

Существует широкий спектр причин для проведения методологических исследований. В прошлом такие исследования применялись для анализа характеристик различных инструментов или методов, используемых в научных работах, оценки степени соответствия отчетности установленным руководящим принципам, улучшения методологических подходов в отдельных методах, изучения разнообразия используемых подходов, выявления возможных факторов, влияющих на эффективность методологических приемов, определения причин вариативности и создания новых методологических решений (и это лишь некоторые направления) (Khalil et al., 2019; Lawson et al., 2020). Эти исследования ценны тем, что они помогают совершенствовать существующие методы, создавать новые исследовательские подходы, минимизировать ненужные научные затраты и указывать на пробелы, которые могут служить основой для будущих исследований.

В данной статье термин «методологическое исследование» обозначает вид исследования, который посвящен разработке, применению, анализу или описанию методик, используемых для сбора и интерпретации данных в научных публикациях, как первичных, так и вторичных. Основная цель таких исследований — предложить стандартизированные и систематизированные подходы к проведению и документированию исследований, особенно тех, которые включают количественные данные. Это позволяет обеспечить согласованность между

поставленными научными вопросами, дизайном исследования, методами анализа и процессом отчетности. Методологическое исследование способствует повышению научной обоснованности и прозрачности результатов, что особенно важно в условиях роста объемов публикаций и ужесточения требований к их качеству и воспроизводимости. Методологические исследования определяются как исследования, используемые для разработки валидности и надежности инструментов или методов, применяемых для измерения конструкций, выступающих в роли переменных в научных исследованиях (Khalil, 2023).

Цель текущей статьи: предложить авторам систематизированное руководство по разработке методологических статей, с акцентом на содержательных и структурных требованиях.

### Определение методологической статьи

Методологическое исследование представляет собой любой тип научного исследования, который акцентирует внимание на методах (дизайне, проведении, анализе или отчетности) в литературе, как опубликованной, так и неопубликованной (Mbuagbaw, 2020). Спектр методологических исследований широк и охватывает разнообразные аспекты, такие как: формулирование научного вопроса, следование рекомендациям по отчетности и обеспечение стандартизации, выбор и разработка подходов к анализу, проверка надежности и достоверности методов, а также исследования, которые агрегируют и обобщают существующие методологические практики. Несмотря на отсутствие единообразия в терминологии, цели и задачи методологических исследований остаются последовательными и направлены на детализированное описание или анализ методов в рамках первичных и вторичных исследований. Таким образом, методологические исследования можно рассматривать как специфический подтип наблюдательных исследований (Mbuagbaw et al., 2022).

Методологические статьи занимают особое место в системе научной коммуникации, так как они способствуют обоснованному выбору методик, стандартизации исследований и повышению их воспроизводимости. Новые методы, разработанные на основе таких статей, становятся вкладом в на-

учный прогресс и могут представлять собой значимые открытия с долгосрочными последствиями. Поэтому публикация, оценка и рецензирование методологических статей также требует подхода, аналогичного оригинальным научным исследованиям. В отличие от протоколов, которые зачастую нуждаются в тщательном контроле, чтобы избежать ошибок, методологические статьи концентрируются на концептуальных принципах, необходимых для адаптации метода к различным условиям, что включает соблюдение требований к полноте информации и следованию техническим нормам и правилам (Leist & Hengstler, 2018).

### Характеристики методологической статьи

В научной литературе важно чётко разграничить протокол, описание метода и методологическую статью, поскольку они выполняют различные функции в исследовательском процессе. Протокол, в отличие от методологической статьи, представляет собой детализированный пошаговый план, который охватывает конкретные процедуры, используемые в исследовании, и обеспечивает строгие параметры, гарантирующие воспроизводимость. Протоколы включают точные указания по материалам, веществам, оборудованию и отдельным мануальным или автоматизированным процедурам, а также методы обработки и интеграции полученных данных. Это практическое руководство предотвращает любые возможные отклонения от процедуры и поддерживает строгое соблюдение методических стандартов, несмотря на модификации или оптимизации, которые могут быть внесены для разных исследований. Таким образом, протоколы могут модифицироваться и оптимизироваться под конкретные условия, сохраняя при этом неизменными основные принципы метода, что гарантирует его корректное функционирование при соблюдении всех стандартов производительности.

Методологические статьи, напротив, фокусируются на общих принципах и концептуальных рамках, которые определяют научные методы, а не на детализированном описании их реализации. Такие статьи предоставляют экспертам базовую основу, на основе которой могут быть разработаны протоколы для конкретных приложений. Методологическая статья объясняет теоретические и практические аспекты

метода и служит ориентиром для исследователей, обосновывая, какие этапы и подходы необходимы для того, чтобы метод работал эффективно. Вместо того чтобы детализировать каждый шаг, методологическая статья предлагает общий план и методические принципы, что позволяет гибко адаптировать метод к различным задачам и исследованиям.

Методологическая статья представляет собой рецензируемую исследовательскую работу, которая обычно средней длины и сосредоточена на решении определённой методологической проблемы или улучшении существующих исследовательских процедур (Yao, 2022). Такой тип статей может охватывать разработку новых методов, значительные модификации уже существующих методик или инновационное применение известных методов в новых научных контекстах. Для признания методологической статьи необходимо наличие обоснованной валидации, которая подтверждает точность и надёжность предложенного метода, а также публикация всех связанных данных и экспериментальных контролей.

Методологические статьи выделяются среди других научных публикаций своим акцентом на детализированном описании исследовательских подходов и методик. Их основной задачей является предоставление полного обзора исследовательского процесса, начиная от формирования гипотезы и выбора методов до анализа и интерпретации полученных данных. В отличие от экспериментальных или теоретических исследований, цель методологической статьи не состоит в представлении новых научных открытий, а в обосновании и разъяснении выбранных исследовательских методов. Это помогает другим учёным применять предложенные подходы в своих собственных исследованиях, что способствует стандартизации и повышению качества научных публикаций.

Методологическая статья может также включать в себя критический обзор существующих методов, их оценку и предложения по их улучшению. Этот анализ помогает избежать типичных ошибок и выбрать наиболее подходящие методики для достижения поставленных научных целей. Таким образом, методологическая статья служит не только источником теоретических знаний, но и практическим руководством по реализации исследовательских процессов.

Методологические статьи могут охватывать разнообразные аспекты исследовательской деятельности, включая методы сбора данных (например, наблюдение за социальными взаимодействиями в образовательной среде), измерительные инструменты (такие как шкалы для оценки эмоционального развития), а также аналитические подходы (например, анализ социальных сетей для изучения взаимодействий среди сверстников). Включение таких аспектов в методологические статьи позволяет учёным критически оценивать и оптимизировать методы, что повышает эффективность и точность научных исследований.

### Основание для создания методологической статьи

В процессе разработки методологической статьи необходимо учитывать несколько ключевых аспектов, которые обеспечивают её эффективность и практическую применимость. В первую очередь, это (1) подробное описание процедур и материалов, достаточное для того, чтобы специалист, изучающий статью, мог оценить и воспроизвести метод. Это описание должно охватывать все шаги реализации метода, чтобы избежать разночтений и предоставить возможность его точного воспроизведения. (2) Важным компонентом также является определение стандартов производительности для конкретного применения метода. Однако такие стандарты не следует считать абсолютными и универсальными; напротив, они должны быть гибко адаптированы к специфике задачи, решаемой методом. В зависимости от области применения, метод может демонстрировать разную степень точности и эффективности. Каждая методология должна сопровождаться характеристикой её применимости, например, диапазоном химических соединений или параметров, в рамках которых она надёжно функционирует. За пределами этих условий метод может утрачивать стабильность или показывать непредсказуемые результаты, что подчеркивает необходимость (3) включения информации о проверенных или предполагаемых областях применимости метода (Leist & Hengstler, 2018).

Далее, (4) методологическая статья должна продемонстрировать, в чём конкретно новый метод превосходит существующие аналоги. Например, улучшенные показатели точности, скорость выпол-

нения, или сокращение степени неопределённости в результатах по сравнению с методами, уже имеющимися на практике. Для повышения убедительности статьи желательно представить количественное сравнение — насколько значимо новый метод отличается от устоявшегося стандарта по ключевым параметрам. Поскольку методологическая статья способствует развитию научного знания, она также должна показывать, какие новые или улучшенные возможности для исследований даёт предложенный метод. В то время как для других типов научных статей данный аспект рассматривается как «степень новизны», в методологических статьях он также важен, поскольку лучшие из них часто открывают возможности для исследований в новых направлениях или областях, ранее недоступных.

(5) Ключевым компонентом качественной методологической статьи также является включение практического примера использования метода. Это требование иногда путают с критерием новизны, однако пример применения не обязан демонстрировать превосходство метода, а лишь должен подтвердить его практическую пригодность. Существуют методы, которые предлагают важные технологические усовершенствования, но не всегда уместны в определённых условиях. Например, керамический нож может превосходить стальной по стойкости к коррозии и сохранению остроты, однако стальной нож может оказаться более предпочтительным для специфических задач. Пример использования должен базироваться на параметре, важном для целевой задачи, а не на характеристике, не имеющей прямого значения. Этот аспект тесно связан с масштабом и значимостью для науки, поскольку демонстрация широкого применения метода имеет большее значение, чем решение нишевой задачи, не несущей большого вклада в развитие отрасли.

Методологические статьи отличаются широким спектром применения, и к ним трудно применить строгие, единые критерии. Однако, помимо описанных выше аспектов (1–5), можно рассмотреть дополнительные параметры, которые усилят ценность методологической статьи:

(6) Устойчивость. Включение информации о том, насколько стабильно метод позволяет получать воспроизводимые результаты, крайне полезно. Это подразумевает выявление критически важных этапов, которые существенно влияют на результат.

Устойчивость касается не только однократной стабилизации результата, но и его долговременной воспроизводимости, которая может быть проверена с помощью исторического контроля — данных, собранных за длительный период времени.

(7) Точность. Показатели ложноположительных и ложноотрицательных результатов, или так называемая чувствительность и специфичность метода, являются необходимыми для оценки его точности. Такие данные особенно важны в методологических статьях, касающихся аналитических процессов, где возможно влияние внешних факторов.

(8) Классические аналитические параметры. При разработке аналитических методов важно учитывать такие параметры, как предел обнаружения, предел количественного определения, линейный диапазон, соотношение сигнал/шум и стабильность во времени. Хотя подробное представление всех этих параметров может быть сложным, оно предоставляет комплексное понимание эффективности метода и возможности его воспроизведения как в пределах одной лаборатории, так и между различными лабораториями. На ранних этапах можно ограничиться качественными оценками, но последующие исследования должны предоставить более точные количественные данные.

(9) Количественная оценка неопределённости. Во многих случаях при использовании одного и того же метода разные лаборатории получают отличающиеся результаты из-за вариативных условий. Проведение анализа чувствительности помогает выявить, насколько финальный результат зависит от изменений в ключевых параметрах — как намеренных, так и случайных. Такой анализ даёт информацию о чувствительности метода к изменению определённых параметров, что позволяет предвидеть влияние таких факторов, как температура, химический состав или внешние условия, на воспроизводимость результатов.

(10) Определение рамок исследования: Введение статьи должно содержать чёткое обоснование необходимости нового метода, с учётом существующих научных и технических предпосылок. Также важно привести описание проблемы, которую новый метод решает, и пояснить, как аналогичные задачи решались другими методами. Это даёт читателю не только представление о потребности

в новом методе, но и демонстрирует преимущества предложенного подхода, делая статью более обоснованной и ценной для научного сообщества.

## Типы методологических статей

Ниже представлена типология методологических исследований, составленная в результате анализа метадискурсивных исследований (Khalil & Munn, 2023; Mbuagbaw et al., 2020).

### 1. Обзорные методологические статьи

Обзорные методологические статьи сосредоточены на комплексном и критическом анализе существующих методов, применяемых в конкретной области исследований. Эти статьи предоставляют исследователям обширный охват актуальных методик, подчеркивая их сильные и слабые стороны и описывая применимые условия. Основной целью таких публикаций является обобщение и систематизация существующих знаний о методологиях, выявление их ограничений и формирование рекомендаций для дальнейшего использования. Обзорные статьи позволяют исследователям ориентироваться в многообразии методов и делают возможным более обоснованный выбор подходов для решения конкретных научных задач.

### 2. Статьи по разработке новых методов

Этот тип статей посвящен описанию и введению новых методологических подходов или инструментов, разработанных для решения специфических научных проблем. Такие публикации содержат подробное объяснение принципов нового метода, его цели и обоснование необходимости создания новых методик. Также они часто включают примеры применения и сравнение с уже существующими методами, демонстрируя улучшения и новые возможности, предоставляемые разработанным методом. Такие статьи способствуют прогрессу в области методологии и расширяют инструментарий научного сообщества, открывая новые горизонты для исследований.

### 3. Статьи по адаптации существующих методов

Статьи этого типа описывают процесс адаптации и модификации существующих методов для их использования в новых условиях или для решения задач, которые выходят за рамки изначальных условий, на которые был рассчитан метод. Эти публикации включают обоснование выбора изменений,

обсуждение их целесообразности и описание того, как такие адаптации позволяют более точно соответствовать новым требованиям исследования. Модификации могут касаться процедур, алгоритмов или инструментов, что обеспечивает методам гибкость и расширяет их применение в новых контекстах.

#### **4. Статьи по валидации методов**

Валидационные статьи направлены на эмпирическую проверку надежности и достоверности существующих методов в конкретных условиях. Авторы проводят исследования, оценивая точность, воспроизводимость и адекватность методик, тем самым подтверждая или опровергая их применимость. Цель валидационных статей — предоставить научное обоснование или опровержение методов, что позволяет исследователям уверенно использовать их или учитывать возможные ограничения в зависимости от условий эксперимента.

#### **5. Статьи по применению методов**

Этот тип методологических статей посвящен демонстрации того, как существующие методы могут быть эффективно использованы в новых областях науки или в решении задач, отличающихся от тех, для которых они были первоначально разработаны. Авторы описывают процесс адаптации метода к новым условиям, выявляют успехи и трудности его применения, подчеркивая практическую значимость методологии. Такие статьи способствуют распространению методов между дисциплинами и делают возможным их использование в разнообразных научных контекстах.

#### **6. Методологические статьи, направленные на оценку соблюдения исследователями руководящих принципов отчетности**

Сосредоточены на анализе того, насколько полно и точно исследователи придерживаются установленных стандартов и рекомендаций по отчетности в своих публикациях. Такие статьи оценивают, в какой мере исследователи выполняют требования к представлению данных, используемых методов и процедур, что играет важную роль в повышении прозрачности, воспроизводимости и достоверности научных исследований. Эти руководящие принципы могут быть общими для всех областей (например, PRISMA для систематических обзоров) или специфическими для отдельных дисциплин (например, CONSORT для отчетности по рандомизированным контролируемым исследованиям).

Преимущества данного типа методологических исследований включают возможность выявления и анализа типичных ошибок и недочетов, которые могут встречаться в научных публикациях, а также предоставление рекомендаций для их исправления.

#### **7. Методологические исследования, направленные на изучение гетерогенности и анализ причин вариации**

Нацелены на выявлении и объяснении различий в подходах и результатах, которые наблюдаются между различными исследованиями по схожей тематике или при использовании аналогичных методов. Этот тип исследований позволяет лучше понять, какие факторы могут влиять на неоднородность результатов и как это отражается на качестве, точности и надежности научных данных.

Основные аспекты исследований гетерогенности и анализа причин вариации включают: *выявление источников гетерогенности* (методологические особенности (различия в дизайне исследования, выборе выборок, методах сбора и анализа данных), а также внешние факторы, такие как условия проведения исследования и индивидуальные характеристики исследуемых объектов); *анализ вариаций в исследовательских подходах* (как и почему разные исследования могут использовать разные методики, даже если они направлены на решение схожих задач); *изучение модификаторов эффектов* (факторов, которые изменяют силу или направление изучаемого эффекта. Например, использование различных дозировок или условий тестирования может приводить к различным результатам, что помогает выявить более специфические условия для проявления эффекта); *проверка надежности и валидности данных* (может включать повторный анализ данных и сравнение результатов, чтобы оценить, насколько возможные вариации могут повлиять на выводы и интерпретацию данных); *выявление зависимости результатов от контекста* (какие элементы метода или дизайна могут быть чувствительны к внешним условиям); *качественная и количественная оценка гетерогенности* (исследования этого типа могут использовать статистические методы (такие как мета-регрессия, анализ подгрупп, иерархическое моделирование) для количественной оценки степени гетерогенности, а также описательные методы для выявления и объяснения различий в качественных параметрах исследований); *рекомендации для стандартизации подходов* (в результате анализа гетерогенности такие исследования часто формируют рекомен-

дации, направленные на уменьшение вариаций между исследованиями: предложение стандартизированных протоколов, более строгие требования к отчетности или рекомендации по использованию определенных методологических подходов и пр.); *информирование будущих исследований*: данный тип методологических исследований служит основой для создания более надежных и универсальных методик. Изучение причин вариации помогает исследователям избегать ошибок и улучшать дизайн будущих исследований, особенно если эти вариации могут исказить выводы или снизить воспроизводимость результатов.

Преимущества методологических исследований, направленных на изучение гетерогенности и анализ причин вариации, заключаются в их способности повышать точность и обоснованность научных выводов, а также в уменьшении влияния случайных или систематических ошибок. Эти исследования способствуют развитию более стандартизированных и универсальных методов, которые позволяют достичь согласованных результатов в разных контекстах, и помогают научному сообществу формировать более точные и объективные представления о предмете изучения.

#### **8. Теоретические методологические статьи**

Теоретические методологические статьи фокусируются на концептуальных аспектах методов и методологий, раскрывая философские, логические и концептуальные основания, на которых они строятся. В таких статьях авторы стремятся углубить понимание методологических принципов, улучшая научную обоснованность и структурную организацию методов. Данные публикации могут представлять новые теоретические подходы, а также дополнять или уточнять существующие, тем самым обогащая научное знание и способствуя более глубокому пониманию основ методологии.

#### **9. Методологические статьи с критикой и предложениями по улучшению**

Этот тип методологических статей фокусируется на критическом анализе существующих методов, выявлении их слабых сторон и формировании рекомендаций по улучшению. В таких публикациях могут содержаться как практические рекомендации для изменения конкретных процедур, так и предложения по усовершенствованию теоретических основ метода. Статьи этого типа оказывают

значительное влияние на научную практику, способствуя повышению качества и эффективности методологических подходов.

#### **10. Методологические статьи по стандартизации**

Методологические статьи, направленные на стандартизацию, разрабатывают и предлагают унифицированные стандарты и протоколы для проведения исследований в конкретной научной области. Такие статьи описывают общие процедуры и критерии, необходимые для повышения воспроизводимости и сопоставимости результатов, что делает их важным инструментом для обеспечения методологической согласованности и согласования подходов между учеными, работающими в различных научных коллективах или учреждениях.

#### **11. Методологические статьи с междисциплинарными подходами**

Междисциплинарные методологические статьи изучают возможности интеграции подходов и методов из различных научных областей, обосновывая их адаптацию и применение в другой дисциплине. Такие статьи обсуждают преимущества и сложности междисциплинарного подхода, рассматривая, каким образом сочетание различных методов позволяет решать комплексные задачи, которые не могут быть решены в рамках одной научной дисциплины. Они помогают ученым понять, как сочетание различных научных перспектив обогащает исследовательский процесс.

#### **12. Методологические статьи по оценке эффективности**

Этот тип статей направлен на анализ и оценку эффективности различных методов, используемых в исследовательской практике. Авторы проводят сравнительный анализ методов с точки зрения их продуктивности, экономичности, простоты использования и других параметров. Такие статьи дают исследователям информацию о том, какие методы могут быть наиболее результативными в конкретных контекстах, что позволяет оптимизировать исследовательский процесс и выбрать наилучший подход для решения поставленных научных задач.

Каждый из этих типов методологических статей выполняет уникальную функцию в структуре научной методологии, предоставляя исследователям инструменты для анализа, усовершенствования, стандартизации и междисциплинарной

адаптации методов. Этот разнообразный спектр методологических статей вносит вклад в развитие и усовершенствование научных методов, делая исследовательский процесс более целенаправленным и эффективным.

Предложенная ниже структура помогает классифицировать методологические исследования по ключевым вопросам, касающимся целей, дизайна, стратегии отбора и единицы анализа, которые определяют характер, направленность и методы каждого исследования (Схема 1).

Рассматривая суть методологического исследования с позиции его цели, можно выделить исследования, (1) *изучающие источники систематических ошибок*: исследования этого типа фокусируются на выявлении и анализе систематических отклонений в первичных или вторичных исследованиях. Они позволяют оценить качество выполнения и адекватность отчетности, а также выявить факторы, которые могут исказить выводы исследования;

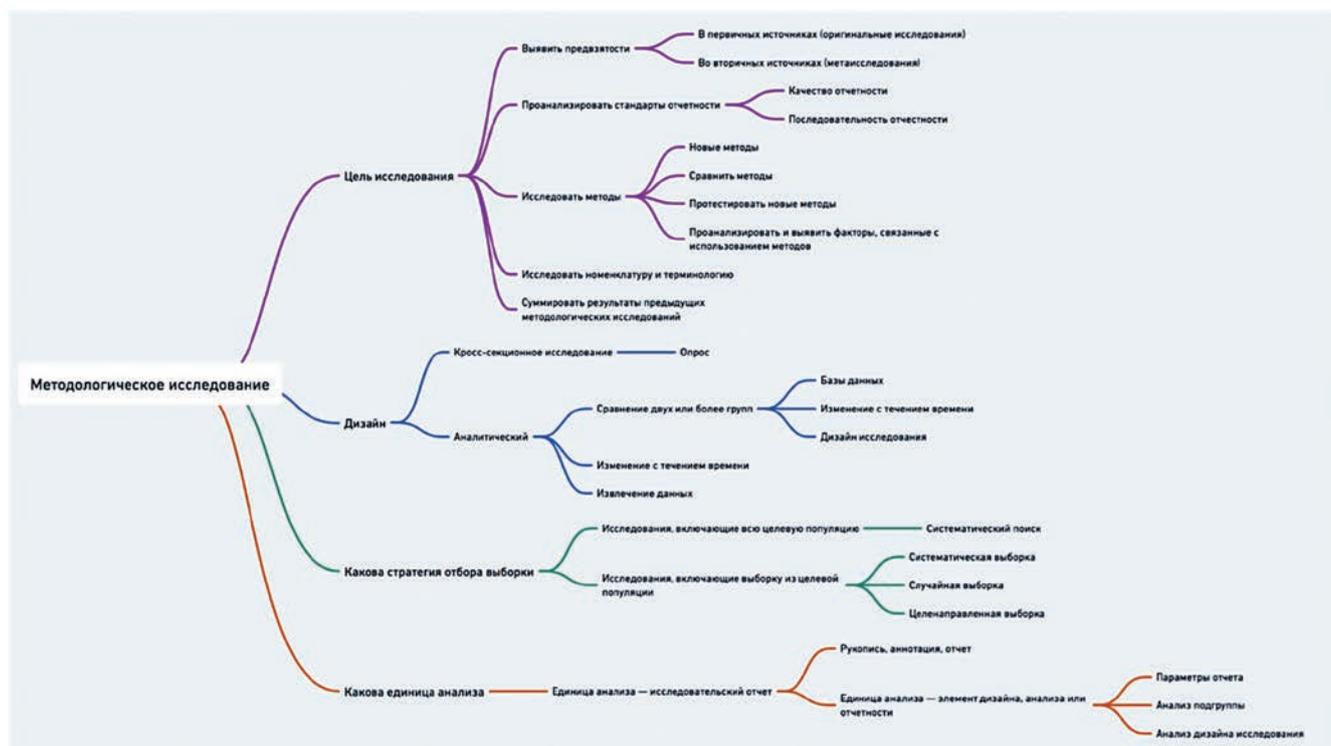
(2) *исследования, изучающие качество и полноту отчетности*: эти исследования анализируют соответствие отчетности исследователей определенным стандартам и руководствам, например, PRISMA или CONSORT, и позволяют оценить, насколько тщательно и точно исследователи описывают процесс и результаты своих работ; (3) *исследования, анализирующие согласованность отчетности*: такие исследования нацелены на проверку соответствия между разными форматами отчетов об одном и том же исследовании. Например, проверяется, насколько информация в аннотациях соответствует основной части статьи, или тезисы конференции — опубликованными полнотекстовым рукописями; (4) *исследования, выявляющие факторы, связанные с отчетностью*: В некоторых исследованиях целью является установление факторов, влияющих на качество и полноту отчетности. Это позволяет выявить, какие характеристики исследований и условий проведения оказывают наибольшее влияние на соблюдение отчетных стандартов; (5) *исследования, описывающие и сравнивающие методы*: эти

Рисунок 1

Структура методологического исследования

Figure 1

The Structure of a Methodological Study



Примечание. Адаптировано из Mbuagbaw et al. (2020).

Note: Adapted from Mbuagbaw et al. (2020)

исследования направлены на описание и сравнение методик, применяемых в исследованиях. Они также могут анализировать факторы, влияющие на выбор и использование тех или иных методик; (6) *исследования, обобщающие результаты других методологических исследований*: эти исследования сводят и анализируют результаты других методологических обзоров, предоставляя интегрированную оценку существующих подходов и выявляя области для дальнейших улучшений; (7) *исследования, анализирующие терминологию и номенклатуру*: в таких работах исследуется использование терминов и понятий в методологических исследованиях, что способствует стандартизации терминологии и повышению точности отчетности.

Дальнейшее уточнение исследуемой проблематики исходя из дизайна исследования позволяет выбрать (1) *описательные методологические исследования*: представляют данные в виде процентных долей, средних значений или медиан. Они призваны предоставить общую картину характеристик исследуемых отчетов или методов или (2) *аналитические исследования*: нацелены на выявление связей между переменными, проверку гипотез и выявление причинно-следственных связей. Это могут быть исследования, которые используют регрессионные методы или другие статистические подходы для анализа ассоциаций между переменными.

Следующим шагом является уточнение стратегии отбора, идентифицирующие методологические исследования как (1) *исследования, включающие всю целевую популяцию*: некоторые методологические исследования сосредоточены на узком исследовательском вопросе, позволяя включить все доступные исследования по данной теме, (2) *исследования, включающие случайную<sup>1</sup> выборку из целевой популяции*: в случаях, когда объем исследований слишком велик, используется систематическая<sup>2</sup> или целенаправленная<sup>3</sup> выборка, чтобы включить репрезентативную часть доступных исследований.

И на финальном шаге остается уточнить единицу анализа: (1) *идет ли речь об анализе полного отчета об исследовании*: в таких исследованиях единицей анализа выступает полный текст публикации. Можно изучать как опубликованные, так и неопубликованные отчеты. К ним могут относиться статьи, тезисы конференций, записи в реестре и т. д. Этот тип анализа позволяет сделать выводы на уровне каждого отдельного исследования, либо (2) *единицей анализа выступает элемент дизайна, анализа / отчетности*: в некоторых случаях анализируется отдельный элемент, который может присутствовать более одного раза в исследовании, например, анализ подгрупп<sup>4</sup> или параметры отчета<sup>5</sup>. Такой подход позволяет более детально изучить и оценить именно те аспекты методологии, которые являются значимыми для научного сообщества,

<sup>1</sup> При *случайной выборке* исследования отбираются случайным образом из целевой популяции. Это обеспечивает равные шансы для каждого исследования попасть в выборку, что уменьшает риск предвзятости. Случайная выборка особенно полезна для получения репрезентативных данных, если изучаемая популяция невелика или доступна в полном объеме.

<sup>2</sup> При *систематической выборке* отбор осуществляется через равные интервалы или определенные шаги (например, каждое пятое исследование в списке). Этот метод обеспечивает репрезентативность выборки, но также может быть подвержен риску систематической ошибки, если есть скрытая структура в исходном списке данных. Пример: отбор исследований для анализа каждой пятой статьи, опубликованной по теме за определённый период.

<sup>3</sup> При *целенаправленной выборке* выбираются только те исследования, которые наиболее соответствуют конкретным критериям или исследовательским задачам. Это полезно, если необходим анализ определенного подмножества данных, например, публикаций с высокой значимостью, в определённых журналах или на конкретные темы. Пример: выбор исследований из журналов категории Q1 Scopus за последние пять лет, если цель — изучить самые значимые публикации по теме.

<sup>4</sup> *Анализ по подгруппам* — это метод анализа, при котором данные разделяются на подгруппы по определённым характеристикам, таким как возраст, пол, тип вмешательства и т. д. В рамках одного исследования может быть несколько таких подгрупповых анализов, которые рассматриваются как отдельные единицы. Методологическое исследование может оценивать качество подгрупповых анализов в серии исследований, например, в клинических испытаниях, чтобы понять, как часто подгрупповые анализы включаются в отчеты, насколько полно и детально они описаны, и соблюдаются ли определенные стандарты.

<sup>5</sup> Под такими параметрами понимают использование статистических методов, описание критериев включения и исключения участников, степень описания побочных эффектов, представление исходных данных и т. д. Некоторые из этих параметров могут встречаться несколько раз в одном отчете (например, при описании разных этапов исследования или разных групп). Например, исследование может изучать, как часто и насколько полно представлена информация о побочных эффектах в отчетах клинических испытаний. Если побочные эффекты описаны для нескольких различных групп или временных периодов, то каждый такой элемент может рассматриваться отдельно.

но при этом не всегда тщательно прорабатываются в каждом исследовании, а также выработать рекомендации для их оптимизации.

## Структурные компоненты методологической статьи

Рекомендуемая структура текста методологической статьи: Аннотация, Ключевые слова, Введение, Литературный обзор, Материалы и методы, Результаты, Обсуждение результатов, Заключение.

### Аннотация

Аннотация не имеет принципиальных отличий в сравнении с аннотацией к оригинальному эмпирическому исследованию. В идеале разбить аннотацию на подразделы (*Введение, Цель, Материалы и методы, Результаты, Заключение*) и добиться их максимально функционального прочтения. Так, *Введение* к аннотации не должно быть целиком посвящено актуальности проблематики. ее основной акцент должен реализовываться на обосновании пробела в существующей методологии в исследованиях по теме, который текущее исследование призвано заполнить. *Цель* четко и однозначно должна описывать контент рукописи, не обещая большего в сравнении с описанным в тексте рукописи. Раздел *Материалы и методы* призван дать читателю понимание логики авторов, предпринятых ими шагов и продемонстрировать глубину, значимость и обоснованность подхода ко введению в научный оборот новых методов / методологий. Раздел *Результаты* призван лаконично, но емко представить все данные, на основании которых авторский коллектив концептуализирует значимость внедряемого им метода / методологии. *Заключение* позволяет представить позицию авторов относительно перспектив дальнейшего использования представленного метода.

### Введение

Введение должно обосновывать актуальность и значимость выбранной методологии для рассматриваемой научной проблемы. В этой части статьи авторы описывают контекст исследования, ключевые

вопросы, которые они намерены решить, и кратко обосновывают выбор методологии. Четкое определение цели и охвата методологического исследования играет ключевую роль (Khalil & Munn, 2023).

Введение в методологической статье имеет несколько особенностей, которые отличают его от введения к эмпирическим исследованиям. Очевидно, что сам жанр рукописи предполагает акцент на обосновании необходимости разработки нового метода или усовершенствования существующего, а также подчеркивании его значимости и ожидаемого влияния на научную практику. Ниже представлены основные требования к риторической структуре введения методологической статьи, дополненные примерами и комментариями.

- (1) Постановка проблемы и обоснование необходимости нового метода

*Цель:* Однозначно обосновать, какую именно методологическую проблему решает предложенный метод и почему существующие Методы / подходы неэффективны или недостаточны. Важно донести до читателя, что возникла объективная необходимость в улучшении методологии.

### Пример<sup>6</sup>:

Существующие методы анализа данных (*в идеале — перечислить подразумеваемые автором методы*) в молекулярной биологии часто страдают от недостаточной точности при обработке большого объема данных, что затрудняет идентификацию редких биомаркеров. Существующие подходы либо чрезмерно затратны по времени (*указать о каких подходах речь*), либо подвержены ошибкам из-за высокого уровня шума в данных (*указать о каких подходах речь*). Отсюда необходим новый (*лучше не использовать слово “новый”, а назвать искомый метод более конкретно*) метод, который бы эффективно справлялся с обработкой таких данных, параллельно обеспечивая высокую точность и воспроизводимость.

*Комментарий:* В представленном абзаце четко обрисована проблема (недостаточная точность и высокая временная затратность существующих методов), указано, почему сложившееся статус кво является проблемой (сложности при идентифика-

<sup>6</sup> Здесь и далее примеры составлены автором, являются схематическими и не опираются на реальные источники (отсылки к фамилиям исследователей созданы для иллюстрации подходов).

ции биомаркеров), и объяснена причина, по которой возникла необходимость во внедрении нового метода / подхода.

## (2) Краткий обзор существующих методов и их недостатков

*Цель:* Продемонстрировать знание существующих методов и указать их слабые стороны. Обзор должен быть достаточно детальным, чтобы показать, что автор проанализировал существующую литературу и понимает ограничения текущих подходов. В этом разделе важно не просто перечислить существующие подходы, но указать на их слабые стороны, ограниченные возможности или ситуации, в которых они оказываются неэффективными. Также здесь важно подкреплять утверждения ссылками на предыдущие исследования, чтобы продемонстрировать, что выявленные недостатки основаны на достоверных источниках и эмпирических данных.

### 2.1. Обзор существующих методов с фокусом на их цель и применение

*Цель:* Кратко описать основные методы, которые уже используются в области исследования. Это помогает установить контекст, а также позволяет читателю понять, какие подходы уже опробованы и почему они не всегда отвечают требованиям.

#### *Пример:*

Среди широко используемых методов анализа биологических образцов следует отметить методы жидкостной хроматографии и масс-спектрометрии (Smith et al., 2015; Lee et al., 2017). Эти методы обеспечивают высокую точность и чувствительность в условиях контролируемой лабораторной среды и позволяют анализировать как отдельные молекулы, так и их комплексы (Chen & Zhang, 2018).

*Комментарий:* Указаны основные методы и их сильные стороны (точность и чувствительность).

### 2.1. Описание слабых сторон и ограничений каждого метода

*Цель:* Продемонстрировать, в чем именно заключаются ограничения существующих методов, почему они недостаточны для решения рассматриваемой проблемы. Этот шаг помогает подготовить аудито-

рию к представлению нового метода как решения выявленных проблем.

#### *Пример:*

Тем не менее, жидкостная хроматография требует сложной подготовки образцов, а также является времязатратной и дорогостоящей по ресурсам (Johnson et al., 2019). Кроме того, как показали исследования Петрова и его коллег (2020), масс-спектрометрия часто демонстрирует низкую точность при анализе биомолекул в условиях присутствия внешних загрязнителей. Это ограничивает ее применимость в ситуациях, где необходим быстрый и недорогой анализ.

### 2.3. Оценка практической применимости методов в реальных условиях

*Цель:* Проиллюстрировать, как текущие методы “работают” в реальных экспериментальных условиях, выявляя слабые места их применения. Этот шаг помогает прояснить, где именно возникает потребность в усовершенствовании методологии.

#### *Пример:*

Несмотря на свои преимущества, эти методы сталкиваются с трудностями при анализе сложных биологических систем в реальных условиях. Например, исследования на образцах почвы и воды показывают, что стандартные методики часто дают неверные результаты из-за высокой вариативности факторов, таких как pH и содержание органического вещества (Anderson & Kim, 2021). Бесчисленные попытки адаптировать существующие методы для анализа сложных матриц привели к вариативности результатов, что подтверждается работами Wilson et al. (2022) и Green et al. (2020).

*Комментарий:* Приводятся реальные примеры, показывающие, что существующие методы испытывают трудности в сложных условиях. Ссылки подтверждают, что эта проблема была замечена различными исследовательскими группами, подчеркивая ее актуальность.

### 2.4. Критический анализ существующего знания с отсылками на работы других исследователей

*Цель:* Прокомментировать и критически осмыслить существующее знание, указав на то, какие аспекты в нем требуют доработки. Этот шаг помогает создать основу для дальнейшей разработки нового метода.

*Пример:*

Ряд авторов отмечают, что необходимость адаптации методов под конкретные экспериментальные условия приводит к потере универсальности и снижению воспроизводимости результатов. Так, исследования Chang и Ho (2019) показали, что использование методов масс-спектрометрии в полевых условиях приводит к существенным вариациям данных (*Поскольку абзац начинается с упоминания “ряда авторов”, необходимо, чтобы в абзаце были упомянуты работы и позиции нескольких авторов*). Это указывает на отсутствие универсального метода, который мог бы обеспечить высокую точность независимо от внешних условий. Как отмечают Davis и Scott (2021), поиск такого метода стал одной из ключевых задач современных исследований.

2.5. Подведение итогов обзора и формулировка пробела в знании

*Цель:* Обобщить основные ограничения существующих методов и ясно сформулировать пробел, который необходимо заполнить, чтобы подвести читателя к мысли, что новый метод может решить указанные проблемы.

*Пример:*

Несмотря на значительные достижения в развитии методов анализа биологических образцов, все еще существует потребность в универсальном методе, который обеспечивал бы стабильные результаты в различных условиях. Проблемы, связанные с воспроизводимостью и сложностью подготовки образцов, указывают на необходимость разработки нового подхода, который объединит высокую точность с простотой применения.

Пример краткого обзора существующих методов и их недостатков представлен в Приложении 1.

(3) Обоснование значимости нового метода для научного сообщества

*Цель:* Объяснить, каким образом вводимый в научный оборот метод сможет помочь исследователям в решении актуальных задач и почему его внедрение будет значимо для области в целом. Это помогает убедить читателя в том, что предложенный метод важен и необходим.

*Пример:*

Введение нового метода для быстрого и точного анализа образцов позволит исследователям молекулярной биологии оперативно получать данные, что ускорит процесс выявления потенциальных лекарственных мишеней и повысит эффективность экспериментов.

*Комментарий:* Этот пример подчеркивает значимость метода, объясняя, как он может улучшить исследовательскую работу (ускорить анализ и повысить эффективность), что является привлекательным аргументом для научного сообщества.

(4) Формулирование цели и исследовательских вопросов

*Пример:*

Целью данной статьи является разработка и апробация нового метода анализа биомолекул, основанного на использовании наночастиц, обладающих уникальной способностью связываться с целевыми молекулами. Этот метод нацелен на преодоление существующих ограничений за счет сокращения этапов очистки, минимизации времени подготовки образцов и повышения точности анализа. Предложенный метод способен обрабатывать большие объемы данных с минимальными временными затратами и не требует сложной предварительной подготовки образцов, что делает его применимым для различных задач в молекулярной биологии и биомедицине

*Комментарий:* Четко сформулирована цель разработки метода — создание более точного и быстрого подхода к анализу биомолекул, который упрощает подготовку образцов. Описаны ключевые особенности метода (использование наночастиц, сокращение этапов подготовки) и его ожидаемые преимущества, что подчеркивает его уникальность и значимость для решения актуальных задач в исследовательской сфере.

**Литературный обзор**

Включает *критический* обзор существующих методов и подходов, используемых в конкретной предметной области. Авторы (с опорой на предыдущие исследования по теме) должны описать основные достоинства и недостатки существующих методологий, а также объяснить, почему выбран-

ный ими подход является наиболее подходящим для решения поставленных задач. Литературный обзор необходим только тогда, когда реально “работает” на исследование: подводит к пониманию неочевидной мысли авторов; обосновывает возможность использования ранее не использовавшихся в данной конкретной предметной области практик и пр. Категорически не имеет смысла включение в литобзор источников с тем, чтобы просто продемонстрировать, что авторы с ними знакомы. Тем более, что во Введении они уже продемонстрировали причины, повлекшие необходимость методологического прорыва в предметной области (См. Приложение 2 с описанием подраздела Раздела Литературный обзор, выполненного с позиций критического осмысления и обоснования позиции авторов).

### **Материалы и методы**

В этом разделе статьи описываются все этапы проведения исследования. Он включает подробное описание процедур сбора и анализа данных, используемого оборудования, программного обеспечения и других инструментов. Авторы также должны указать, как они контролировали возможные переменные и факторы, влияющие на результаты исследования.

### **Результаты**

Результат должны быть представлены полно, но не избыточно. Необходимо разбить их на логические блоки и каждый блок озаглавить. Таким образом читатели получают инструмент навигации в теле раздела, а логика авторов будет очевидной.

### **Обсуждение результатов**

В обсуждении авторы (с опорой на предыдущие исследования по теме) анализируют результаты, полученные с использованием описанных методов. Также в этом разделе рассматриваются возможные улучшения методики и их применение в будущих исследованиях. Авторы призваны вступить в диалог с другими исследователями из предметной области, продемонстрировать уровень своей экспертности в теме посредством представления информации и собственных идей сквозь призму анализа, критического восприятия. Введение к статье и секция Обсуждение результатов

призваны выступать в диалоге. Во Введении автор заявляет проблемные аспекты, а в Обсуждении результатов демонстрирует насколько успешно удалось заполнить Выявленный во введении методологический пробел в знании, появились ли новые опасения относительно валидности представляемой методологии и пр. Крайне важно включить обсуждение ограничений выбранных методологий и возможных путей их преодоления.

Главная цель обсуждения в методологической статье — показать, насколько эффективно и целесообразно предложенное методологическое решение, объяснить его ограничения и обоснованность использования, а также подчеркнуть его преимущества перед существующими методами. В отличие от эмпирических исследований, где акцент делается на анализе экспериментальных данных и выявлении закономерностей, методологические статьи концентрируются на оценке работы предложенного метода и его применимости.

Риторическая структура *Обсуждения результатов* в методологической статье в сравнении с эмпирической статьей имеет существенно отличные функциональные акценты. В *эмпирической статье* обсуждение результатов фокусируется на интерпретации экспериментальных данных и сопоставлении их с существующими теориями или гипотезами. Главная цель — выявить, как полученные данные подтверждают или опровергают гипотезы исследования. В *методологической статье* главная цель обсуждения — продемонстрировать достоинства и ограничения предложенного метода, объяснить, в каких условиях его применение целесообразно, и указать, как он может способствовать решению научных задач.

В *эмпирической статье* обсуждение в большинстве случаев следует следующей структуре:

- Интерпретация результатов с точки зрения исходной гипотезы.
- Сопоставление с предыдущими исследованиями и теоретическими моделями.
- Обсуждение ограничений исследования.
- Выводы о влиянии полученных данных на область исследования.

В *методологической статье* структура обсуждения результатов отличается и включает:

- Обсуждение применимости метода: авторы объясняют, для каких задач и условий метод подходит лучше всего.
- Сравнение с существующими методами: акцент на сравнении эффективности и удобства применения нового метода с традиционными подходами.
- Анализ ограничений и условий применения: детальное обсуждение ограничений, сложностей использования и факторов, влияющих на точность или воспроизводимость.
- Обсуждение перспектив и возможных применений: прогнозируется, как предложенный метод может развиваться, какие задачи он может решить в будущем.

В методологической статье каждый шаг ориентирован на оценку метода: подчеркивается универсальность / гибкость / продуктивность / эффективность метода, что делает его полезным для широкого круга задач; анализируется точность и чувствительность метода с акцентом на условия, где он обеспечивает наилучшие результаты; обсуждается потенциал метода для применения в других областях, где он еще не использовался, но может быть полезен. Пример типичной структуры раздела Обсуждение результатов в методологической статье см. в Приложении 3.

### **Заключение**

Заключение содержит краткое резюме основных выводов статьи и рекомендации по применению описанных методологий в будущих исследованиях. Авторы призваны предложить направления для дальнейшего развития или усовершенствования методов. Категорически не рекомендовано еще раз перечислять полученные результаты (их лучше описать через соотнесение с тем, насколько успешно они позволили достичь цели исследования и почему).

Секция «Заключение» в методологической статье действительно отличается от аналогичной секции в эмпирической статье с точки зрения риторической структуры и функционального содержания. Основные различия заключаются в том, что методологическая статья подчеркивает ценность и применимость нового метода, тогда как эмпирическая

статья делает акцент на интерпретации данных и их значении для теории или практики.

Отличия в риторической структуре и функциональном содержании

В эмпирической статье заключение сосредоточено на интерпретации полученных данных и их значении для дальнейшего развития теории или подтверждения гипотез. Основные задачи — подвести итоги исследования, отметить значимость результатов и предложить возможные направления для будущих исследований, связанные с полученными данными. В методологической статье заключение подчеркивает вклад предложенного метода в методологическую базу предметной области. Основная задача — обобщить результаты проверки метода, подчеркнуть его преимущества перед существующими подходами и предложить области, где метод может быть применен для решения исследовательских задач.

*Например:*

Настоящее исследование продемонстрировало, что ... метод, основанный на использовании наночастиц, успешно справляется с анализом сложных биомолекулярных образцов в полевых условиях. Результаты подтверждают, что метод позволяет сократить количество этапов подготовки и повысить точность анализа, что делает его перспективным инструментом для дальнейшего применения.

В эмпирической статье даются рекомендации для дальнейших исследований, исходя из ограничений исследования и направлений для развития теории. В методологической статье авторы предлагают конкретные области применения нового метода и сценарии, где он будет наиболее полезен. Дается оценка применимости метода в различных условиях и рекомендации по его внедрению.

*Например:*

Предложенный метод может найти широкое применение в областях молекулярной биологии и клинической диагностики, где требуется точный и быстрый анализ образцов. Рекомендуется дальнейшее тестирование метода для анализа других биологических жидкостей, что позволит расширить его применимость.

В эмпирической статье перспективы касаются продолжения экспериментов для подтверждения

и углубления понимания полученных данных. В методологической статье авторы обсуждают возможность дальнейшего развития самого метода — его адаптации для других типов данных, улучшения точности или эффективности. Также рассматриваются будущие исследования, которые могут дополнить и усилить применимость метода.

*Например:*

Будущие исследования могут быть направлены на адаптацию предложенного метода для анализа небиологических образцов, таких как промышленные сточные воды, что позволит расширить область его применения и подтвердить его универсальность.

Если авторы не включили описание ограничений исследования в раздел *Обсуждение результатов*, то их можно описать в разделе *Заключение*. В эмпирической статье ограничения чаще связаны с недостатками в данных, выбором методов анализа или интерпретацией. В методологической статье ограничения связаны с возможностями и условиями применения метода, что может потребовать дополнительных адаптаций для различных типов данных или условий.

*Например,*

Метод требует точной настройки параметров при анализе образцов с низкой концентрацией целевого вещества, что ограничивает его применение в условиях, где доступ к высокоточному оборудованию затруднен. В дальнейшем адаптация метода для таких условий может быть направлением для его оптимизации.

#### (9) Список литературы

Список литературы должен быть оформлен в соответствии с требованиями конкретного научного журнала. Например, при использовании стиля APA 7-го издания, ссылки должны включать информацию о авторах, годе публикации, названии работы, источнике и других важных данных. При этом важно, чтобы авторы опирались на исследования авторов из разных стран, а значительная часть источников была опубликована не позднее чем 5 лет. В список источников вносятся только научная литература. Справочники и методическая литература должны быть представлены как постраничные сноски и не включаются в список литературы.

## Требования к содержанию методологической статьи

Ключевым требованием к методологической статье является её ясность и полнота. Все описанные методы и подходы должны быть представлены таким образом, чтобы их можно было воспроизвести в других исследованиях. Авторы должны учитывать, что их работа будет использоваться коллегами для решения схожих научных задач, поэтому необходимо максимально подробно описывать используемые методы и процедуры.

Важно, чтобы в методологической статье было представлено критическое осмысление выбранных подходов, что способствует развитию научной дискуссии и улучшению качества исследований в целом. Авторы должны быть готовы к тому, что их методологические предложения будут подвергнуты критике, и поэтому необходимо тщательно обосновывать все сделанные выводы и рекомендации.

Ключевые компоненты методологической статьи: (1) описание методов, (2) стандарты производительности, (3) области применения, (4) доказательства прогресса по сравнению с существующим уровнем знаний, (5) демонстрация метода на практическом примере. Кроме того, обсуждаются информационные области, которые желательны, но могут быть представлены в каждом конкретном случае или в серии статей: (6) устойчивость метода, (7) показатели точности и (8) прецизионности, включая различные количественные оценки производительности метода, и (9) меры неопределенности, включая анализ чувствительности (Leist & Hengstler, 2018).

## Переменные, влияющие на результаты методологического исследования

Существует эмпирическое подтверждение того, что ряд переменных оказывает значительное влияние на результаты и качество методологических исследований. Эти переменные варьируются от характеристик исследовательской среды и культуры до конкретных аспектов дизайна исследования, финансирования и редакционной политики научных журналов.

Характеристики исследовательской культуры значительным образом варьируются в *региональном*

измерении, равно как и доступность ресурсов для проведения исследований. В свою очередь, методологические подходы могут характеризоваться региональной спецификой (Mbuagbaw et al., 2020). Страны с высоким уровнем дохода зачастую характеризуются более масштабными исследованиями и коллективами авторов, включающих в себя специалистов из разных областей знания, характеризующихся различным уровнем экспертизы. Наличие в команде авторов специалистов в области методологии исследований и академического письма влияет на характеристики исследования и созданной по его результатам рукописи (Fleming et al., 2014).

Авторы из определенных стран могут предпочитать публикацию в определенных журналах, а поддержка редакциями журналов конкретных руководств по отчетности могут определять большую или меньшую популярность последних (Mbuagbaw et al., 2020). Высокий импакт-фактор журнала также коррелирует с более строгими стандартами в области отчетности и методологической строгости. Политика журнала относительно публикации данных и обязательность предоставления исходных данных для воспроизведения результатов становятся важными аспектами, влияющими на качество методологических исследований. Исследования, сопровождаемые открытыми наборами данных, более прозрачно представляют свои методы и результаты, что положительно сказывается на их репутации и уровне доверия к ним.

Временной фактор также выступает в качестве значимой переменной. Методологические подходы и стандарты отчетности изменяются со временем, часто адаптируясь к появляющимся в научной среде нововведениям и рекомендациям. Улучшения в области отчетности часто происходят после публикации руководств и стандартов, таких как PRISMA и CONSORT, что свидетельствует о влиянии временного фактора на качество публикаций (Mbuagbaw et al., 2014).

Отдельные исследования свидетельствуют, что финансируемые исследования более тщательно сообщают о результатах, хотя и могут сопровождаться конфликтами интересов. Наличие финансирования создает возможность более адекватного отбора ресурсов, необходимых для конструирования оптимального дизайна исследования, анализа дан-

ных и следования лучшим стандартам отчетности (Hansen et al., 2019). Более крупные исследования, как правило, имеют больше ресурсов и возможностей для строгого соблюдения методологических стандартов, что позволяет улучшить качество и воспроизводимость полученных данных (Mbuagbaw et al., 2020). Важна и сфера методологического исследования, которая может влиять на качество отчетности. Так, более строгие требования к медицинским и фармакологическим исследованиям, равно как и более высокий уровень финансирования, доступный для них определяют и их более строгую отчетность. Специфику имеет и площадка для представления отчета о методологическом исследовании в виде публикации: журнал или труды конференции (Rosmarakis et al., 2005). По очевидным причинам проработанность деталей более характерна для статей из научных журналов.

Методология и качество данных, а также используемые аналитические подходы также существенно влияют на качество методологической статьи (Reed et al., 2021; Veginadu et al., 2022; Wang et al., 2023). Например, использование более сложных методов анализа, таких как многомерные статистические методы, требует высокого уровня экспертизы и ресурсов, что в свою очередь сказывается на качестве и точности результатов.

Наличие современного оборудования и технологий может значительно улучшить качество методологических исследований, так как позволяет применять более точные и комплексные методы анализа (Reed et al., 2021; Elahi et al., 2023). Например, доступ к специализированным лабораториям и программному обеспечению для анализа данных повышает качество обработки и интерпретации данных.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методологическое исследование — это фундаментальный компонент научной работы, который помогает стандартизировать и улучшать качество научных исследований. Структурированный подход к написанию рукописей по результатам таких исследований, четкое соблюдение требований к их содержанию и структурированию, а также критическое осмысление предложенных методик способствуют развитию научного знания и повышению его практической ценности. Каждому автору важ-

но понимать значимость корректного оформления методологической статьи, чтобы она могла служить надежным источником для дальнейших исследований и развития научного сообщества.

Рекомендации, приведенные в текущей статье, основаны на современной научной практике и призваны помочь авторам помочь в проектировании и анализе методологических статей: проанализи-

рованы целеполагание и типичное содержание методологических исследований, описаны переменные, которые могут повлиять на результаты методологических исследований, представлена классификация методологических исследований и стратегия локализации жанра методологической статьи, описаны основные компоненты риторической структуры методологической статьи и их функционального содержания.

## REFERENCES

- Тихонова, Е. В. (2023). Жанр научной коммуникации «техническая заметка»: фокус и структура. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 8–13. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.504>
- Tikhonova, E. V. (2023). Genre of scientific communication «Technical note»: Focus and structure. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 8–13. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.504>
- Elahi, M., Afolaranmi, S. O., Lastra, M., & Pérez, A. (2023). A comprehensive literature review of the applications of AI techniques through the lifecycle of industrial equipment. *Discover Artificial Intelligence*, 3(43). <https://doi.org/10.1007/s44163-023-00089-x>
- Fleming, P. S., Koletsi, D., Pandis, N. (2014). Blinded by PRISMA: Are systematic reviewers focusing on PRISMA and ignoring other guidelines? *PLoS One*, 9(5), e96407. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0096407>
- Hansen, C., Lundh, A., Rasmussen, K., Hrobjartsson, A. (2019). Financial conflicts of interest in systematic reviews: Associations with results, conclusions, and methodological quality. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 8(8), MR000047. <https://doi.org/10.1002/14651858.MR000047.pub2>
- Khalil, H., & Munn, Z. (2023). Guidance on conducting methodological studies — an overview. *Current Opinion in Epidemiology and Public Health*, 2(1), 2–6. <https://doi.org/10.1097/PXH.0000000000000013>
- Khalil, H., Bennett, M., Godfrey, C., McInerney, P., Munn, Z., & Peters, M. (2019). Evaluation of the JBI scoping reviews methodology by current users. *International Journal of Evidence-Based Healthcare*, 18(1), 1. <https://doi.org/10.1097/xe.0000000000000202>
- Lawson, D. O., Puljak, L., Pieper, D., Schandlmaier, S., Collins, G. S., Brignardello-Petersen, R., Moher, D., Tugwell, P., Welch, V. A., Samaan, Z., Thombs, B. D., Nørskov, A. K., Jakobsen, J. C., Allison, D. B., Mayo-Wilson, E., Young, T., Chan, A. W., Briel, M., Guyatt, G. H., Thabane, L., Mbuagbaw, L. (2020). Reporting of methodological studies in health research: A protocol for the development of the Methodological Study reportIng Checklist (MISTIC). *BMJ Open*, 10(12), e040478. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-040478>
- Leist, M., & Hengstler, J. G. (2018). Essential components of methods papers. *ALTEX*, 35(3), 429–432. <https://doi.org/10.14573/altex.1807031>
- Mbuagbaw, L., Lawson, D. O., Puljak, L., Allison, D. B., & Thabane, L. (2020). A tutorial on methodological studies: The what, when, how and why. *BMC Medical Research Methodology*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12874-020-01107-7>
- Mbuagbaw, L., Thabane, M., Vanniyasingam, T., Borg Debono, V., Kosa, S., Zhang, S., Ye, C., Parpia, S., Dennis, B. B., & Thabane, L. (2014). Improvement in the quality of abstracts in major clinical journals since CONSORT extension for abstracts: A systematic review. *Contemporary Clinical Trials*, 38(2), 245–250. <https://doi.org/10.1016/j.cct.2014.05.012>
- Reed, M. S., Ferré, M., Martin-Ortega, J., Blanche, R., Lawford-Rolfe, R., Dallimer, M., & Holden, J. (2021). Evaluating Impact from research: A methodological framework. *Research Policy*, 50(4), 104147. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2020.104147>
- Rosmarakis, E. S., Soteriades, E. S., Vergidis, P. I., Kasiakou, S. K., & Falagas, M. E. (2005). From conference abstract to full paper: Differences between data presented in conferences and journals. *FASEB Journal*, 19(7), 673–680. <https://doi.org/10.1096/fj.04-3140lfe>
- Yan, Z. (2020). How Should We Write Methodological Articles? *Cambridge University Press EBooks* (pp. 107–118). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781108277426.015>
- Yao, X., Xia, J., Jin, Y., Shen, Q., Wang, Q., Zhu, Y., McNair, S., Sussman, J., Wang, Z., Florez, I. D., Zeng, X.-T., & Brouwers, M. (2022). Methodological approaches for developing, reporting, and assessing evidence-based clinical practice guidelines: A systematic survey. *Journal of Clinical Epidemiology*, 146. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2022.02.015>
- Veginadu, P., Calache, H., Gussy, M., Pandian, A., & Masood, M. (2022). An overview of methodological approaches in systematic reviews. *Journal of Evidence-Based Medicine*, 15(1), 39–54. <https://doi.org/10.1111/jebm.12468>
- Wang, J., Liu, Y., Li, P., Lin, Z., Sindakis, S., & Aggarwal, S. (2023). Overview of data quality: Examining the dimensions, antecedents, and impacts of data quality. *Journal of the Knowledge Economy*, 15, 1159–1178. <https://doi.org/10.1007/s13132-022-01096-6>

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

### Краткий обзор существующих методов и их недостатков

Современные методы анализа биологических образцов, такие как жидкостная хроматография (Smith et al., 2015) и масс-спектрометрия (Lee et al., 2017), обеспечивают высокую точность и чувствительность в лабораторных условиях (Chen & Zhang, 2018). Однако, как отмечают Johnson и его коллеги (2019), жидкостная хроматография требует сложной и долгой подготовки образцов, что делает ее применение малоприменимым для быстрого анализа в полевых условиях. Кроме того, исследования Петрова и др. (2020) выявили значительные отклонения в результатах масс-спектрометрии при на-

личии внешних загрязнителей, что ограничивает её применимость в реальных условиях. Anderson & Kim (2021) также подчеркивают, что такие методы имеют низкую точность при анализе образцов с высокой вариативностью, что подтверждается последующими работами Wilson et al. (2022) и Green et al. (2020). Как следствие, необходимость адаптации существующих методов под конкретные условия приводит к снижению универсальности и воспроизводимости данных (Chang & Ho, 2019). Для решения этих проблем требуется разработка нового (*слово новый нужно заменить рабочим названием обновляемого метода*) метода, который объединит высокую точность с универсальностью и устойчивостью к внешним воздействиям.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

#### Ограничения традиционных методов в анализе данных по экологической токсикологии

В экологической токсикологии традиционно используются аналитические методы, такие как газовая хроматография (ГХ) и масс-спектрометрия (МС), для определения концентраций токсичных соединений в природных средах. Эти методы позволяют получить детальные химические профили загрязнений, что делает их особенно полезными в лабораторных условиях (Jones et al., 2017; Carter & Lee, 2019). Однако ряд исследований отмечает, что, несмотря на высокую точность и чувствительность, эти методы имеют ограниченную применимость для комплексного анализа многокомпонентных смесей, часто встречающихся в природных образцах (Green et al., 2020; Patel & Ho, 2018). Традиционные подходы, как правило, не учитывают влияние множества факторов на токсическое воздействие, таких как совместное присутствие различных химических соединений и их взаимодействие с биологическими системами (Thompson & Hall, 2021).

#### Альтернативные подходы на основе методов машинного обучения

С 20х гг. XXI в. методы машинного обучения (МЛ) активно развиваются и начинают внедряться в различных областях, включая биомедицину и фармацевтику (Smith et al., 2018; Nguyen et al., 2021). МЛ позволяет находить скрытые закономерности в больших массивах данных, что делает его перспективным для анализа экологических данных, где требуется учитывать многомерные и нелинейные зависимости (Anderson & Kim, 2020). Например, по данным исследований в биомедицине, МЛ может повысить точность диагностики за счет использования алгоритмов классификации для идентификации специфических паттернов в наборе данных (Chen & Wang, 2019). Несмотря на то, что МЛ еще не получил широкого распространения в экологической токсикологии, его потенциал для анализа сложных смесей и прогнозирования их комбинированного воздействия на биоту уже подтвержден экспериментами в других дисциплинах (Martinez & Lee, 2020).

## Обоснование применимости методов машинного обучения в экологической токсикологии

В условиях, когда химический состав исследуемых объектов меняется в зависимости от географических и климатических факторов, а экспериментальные методы анализа требуют значительных временных и финансовых затрат, применение машинного обучения в экологической токсикологии приобретает особую значимость (Lopez et al., 2021). Методы МЛ позволяют значительно сократить время анализа за счет использования алгоритмов для автоматической классификации и прогнозирования токсичности на основе имеющихся данных, что подтверждается недавними работами в области биомедицины (Nguyen & Perez, 2021). Более того, такие алгоритмы могут быть адаптированы для учета сложных взаимодействий между различными загрязняющими веществами, что до сих пор трудно осуществимо с использованием традиционных методов (Patel et al., 2020).

## Потенциальные трудности и необходимые условия для внедрения методов МЛ в экологическую токсикологию

Хотя МЛ предлагает ряд преимуществ, его успешное применение в экологической токсикологии потребует значительных адаптаций. Во-первых, как показано в исследованиях Но и соавторов (2021),

необходимо стандартизировать сбор данных, чтобы алгоритмы могли обучаться на сопоставимых данных. Во-вторых, требуется разработка специфических для экологии моделей, способных учитывать изменчивость факторов окружающей среды, что было продемонстрировано в работах по созданию моделей для предсказания погодных условий (Foster & Green, 2020). Кроме того, для обучения МЛ алгоритмов в области экологической токсикологии потребуются большие объемы данных, что требует сотрудничества между лабораториями для создания общих баз данных (Smith et al., 2019). Эти условия, однако, не являются непреодолимыми, и успешные примеры использования МЛ в других науках демонстрируют его применимость и перспективность в экологической токсикологии.

Хотя методы машинного обучения являются нетрадиционными для экологической токсикологии, они предлагают значительные преимущества для анализа сложных данных, улучшая возможность прогнозирования и автоматизации процессов. Предыдущие успешные примеры их использования в смежных областях, таких как биомедицина, подтверждают их потенциал в решении экологических задач. Это обоснование делает методы машинного обучения перспективным направлением для исследований в области экологической токсикологии и открывает возможности для создания более точных и оперативных моделей оценки токсического воздействия загрязнителей.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 3

### Риторическая структура секции обсуждения в методологической статье<sup>7</sup>

#### (1) Соотнесение цели исследования с подтвержденными результатами:

Описание соответствия цели, озвученной во Введении, и полученных результатов. В этом подразделе авторы объясняют, насколько результаты демонстрируют достижение цели.

#### Пример:

Целью настоящего исследования было разработать / обосновать / валидировать / апробировать метод, способный повысить точность анализа биомолекул в условиях присутствия загрязнителей и вариативности внешней среды. Результаты показали, что предложенный метод на основе функционализированных наночастиц не только сокращает этапы очистки, но и сохраняет стабильность в условиях, где традиционные методы дают сбой.

<sup>7</sup> Представленная риторическая структура является наиболее частотной, но не исчерпывающей и незначительно варьируется в различных предметных областях.

Если авторами во Введении были сформулированы исследовательские вопросы, необходимо проанализировать, какие результаты они позволили продемонстрировать ярче. Каждый исследовательский вопрос должен получить ответ, основанный на обобщенных результатах тестирования метода.

*Пример:*

Наш первый исследовательский вопрос касался того, может ли ... метод повысить воспроизводимость результатов в полевых условиях. Проведенные тесты показали, что метод обеспечивает 95% точность в измерениях даже при изменении уровня влажности, что недоступно для традиционных методов, таких как масс-спектрометрия. Второй исследовательский вопрос был направлен на проверку эффективности метода в анализе загрязненных проб. Согласно результатам тестирования, предложенный подход значительно (*дать конкретные цифры*) снизил количество ложноположительных результатов в сложных матрицах, что также соответствует поставленным задачам.

## **(2) Оценка эффективности метода**

Авторы комментируют, как метод помогает решить ключевые задачи или проблемы, которые ранее оставались нерешенными, а также обобщается его значение для дальнейших исследований.

*Пример:*

Введение ... метода в научный оборот позволяет исследователям применять высокоточный и устойчивый к внешним воздействиям подход для анализа сложных образцов. Наши результаты свидетельствуют, что ... метод может стать основой для дальнейших разработок и улучшений в области аналитической химии и токсикологии, так как его эффективность подтверждена в условиях, где традиционные методы демонстрируют низкую надежность.

## **(3) Сравнение введенного в научный оборот метода с традиционными методами:**

Описывается, в чем введенный метод лучше существующих, приводятся результаты сравнений (с отсылками к источникам).

*Например:*

В отличие от традиционного метода (*по тексту должно быть понятно — о каком методе идет речь*), предложенный метод требует на 30% меньше времени на реализацию и обеспечивает стабильные результаты даже при изменении температуры, что подтверждает его устойчивость.

## **(4) Ограничения и условия использования:**

Подробное объяснение того, при каких условиях метод теряет эффективность или может привести к ошибкам.

*Например:*

Метод требует точной настройки параметров при анализе образцов с низким содержанием целевого вещества, что может снизить его применимость в условиях дефицита лабораторного оборудования.

# Why Is It Important for Scholars to Have ORCID ID?

Russian Biotechnological University,  
HSE University, Moscow, Russian  
Federation

Marina A. Kosycheva

## CORRESPONDENCE:

**Marina A. Kosycheva**

E-mail: [kosychevama@mgupp.ru](mailto:kosychevama@mgupp.ru)

## FOR CITATIONS:

Kosycheva, M.A. (2024). Why is it important for scholars to have ORCID ID? *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 29-32.

<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.614>

**RECEIVED:** 01.08.2024

**REVISED:** 01.09.2024

**ACCEPTED:** 15.09.2024

**PUBLISHED:** 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.

## ABSTRACT

A key tool for promoting a scientist, their research, building a personal brand and improving their reputation in the scientific community, as well as for identifying authorship is an ORCID profile. This editorial describes the benefits of registering an ORCID profile and including it in the article requirements when submitting a manuscript for possible publication as a mandatory element of author data.

## KEYWORDS

ORCID identifier; authorship; enhancing research visibility



# Почему ученым важно иметь ORCID ID?

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),  
НИУ ВШЭ

М.А. Косычева

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Марина Александровна Косычева**  
E-mail: [kosychevama@mgupp.ru](mailto:kosychevama@mgupp.ru)

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Косычева, М. А. (2024). Почему ученым важно иметь ORCID ID? *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 29-32. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.3.614>

**ПОСТУПИЛА:** 01.08.2024

**ДОРАБОТАНА:** 01.09.2024

**ПРИНЯТА:** 15.09.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.09.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## АННОТАЦИЯ

Ключевым инструментом для продвижения ученого, его исследований, формирования личного бренда и улучшения репутации в научной среде, а также для идентификации авторства является профиль ORCID. В данной редакторской статье описываются преимущества регистрации профиля ORCID и его включение в требования к статье при подаче рукописи на рассмотрение для возможной публикации в качестве обязательного элемента данных об авторе.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

идентификатор ORCID; авторство; повышение видимости исследования



In 2016, 7 major publishers agreed to sign ORCID's Open Letter, mandating that authors include an ORCID ID with all manuscript submissions.<sup>1</sup> Most scientists neglect the demand of journals to provide their ORCID identifier because they do not understand its specificity and benefits. Worldwide, ORCID identifier is perceived as a part of a brand in academia. Moreover, people got used to treat a brand as a means of recognition. The same way ORCID helps to find a particular author and his endeavors and avoid mistakes in identifying scholars with the identical names.

The Open Researcher and Contributor ID (ORCID) is an international registry designed for author and researcher identification, established through collaborative efforts among publishers, researchers, research institutions, and funding organizations. When authors register, they obtain a unique, permanent ORCID identifier that streamlines research processes, mitigates issues related to name confusion (such as differences arising from marriage or variations in names and initials), and ensures accurate attribution of research work. This system assigns a 16-digit alphanumeric code to authors, enabling them to consolidate information about their publications, affiliations, and research activities into one profile, while also allowing for the synchronization of author profiles across various information platforms. This helps enhance recognition and credibility within the academic community. Since the ORCID ID is permanent, it remains unaffected by changes in employment, retaining a lasting connection to all past publications (Cress, 2019).

The significance of ORCID identifiers for scientists and their professional standing is frequently highlighted in academia. In Russia, scientific and educational institutions provide information on ORCID and offer registration guidance on their websites, while also conducting training sessions for staff (Loskutova, 2021). Yet, some scholars face difficulties with issues related to ORCID. International authors have explored issues related to ORCID identification numbers in their writings, but there are few contributions from Russian authors on this subject. Therefore, this lack of literature may contribute to the limited awareness and understanding of ORCID's importance among Russian researchers. Establishing an ORCID ID

enables authors to receive acknowledgment for their contributions, honors, and institutional connections. It is essential for authors to incorporate this ID when submitting manuscripts or applying for grants, as it promotes transparency and highlights their previous publications.

An ORCID author profile is a valuable tool for enhancing a researcher's visibility and establishing their personal brand, allowing them to differentiate themselves from peers, showcase their strengths, and support career advancement and professional growth (Kirillova, 2018; Cress, 2019; Loskutova, 2021). To optimize an ORCID profile, researchers should include several key elements alongside their basic identification information (such as names and email addresses). These elements include:

- (1) Significant milestones in their career;
- (2) Educational background and additional training;
- (3) Employment history and job titles;
- (4) Academic qualifications and recognitions;
- (5) Grants and funding for research;
- (6) Memberships in professional organizations, both national and international;
- (7) Invitations to speak or participate in various academic roles (e.g., lecturer, reviewer, editorial board member);
- (8) Links to personal or institutional websites that feature their work;
- (9) Links to profiles on other academic platforms (such as Scopus, Web of Science, Publons, Mendeley);
- (10) Keywords reflecting their research interests;
- (11) A record of their academic contributions, including all or select publications, illustrating their research output.

This information is crucial for showcasing the researcher's professional standing and achievements, thereby bolstering their reputation in the global scientific community. However, many authors leave their ORCID profile blank or restrict access to their personal information.

Our journal is gathering your ORCID ID to ensure that you are accurately recognized and associated with your publications. This will help maintain your link to your complete body of work over the course of your career.

<sup>1</sup> You can find the full list of journals and publishers requiring ORCID IDs by signing the letter following the link <https://orcid.org/content/requiring-orcid-publication-workflows-open-letter>

## REFERENCES

- Cress, P. E. (2019). Why do academic authors need an ORCID ID? *Aesthetic Surgery Journal*, 39(6), 696–697. <https://doi.org/10.1093/asj/sjz042>
- Kirillova, O. V. (2018). How to arrange an article and scientific journal to avoid indexing errors in international scientometric databases. *Science Editor and Publisher*, 3(1–2), 52–72. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2018-1-2-52-72>.
- Loskutova, T. A. (2021). Typical mistakes by Russian researchers when registering and completing their ORCID records: Analysis of real cases. *Science Editor and Publisher*, 6(2), 119–130. <https://doi.org/10.24069/SEP-21-11>

# Исследование влияния ультразвуковой обработки на извлечение компонентов свеклы (*Beta vulgaris*) с последующим использованием в напитках брожения

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности – филиал ФГБНУ «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН, г. Москва, Российская Федерация

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**  
**Лариса Николаевна Харламова**  
E-mail: harlara@yandex.ru

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**  
Харламова, Л. Н., Синельникова, М. Ю., & Матвеева, Д. Ю. (2024). Исследование влияния ультразвуковой обработки на извлечение компонентов свеклы (*Beta vulgaris*) с последующим использованием в напитках брожения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 33–41. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.3.571>

**ПОСТУПИЛА:** 03.02.2024  
**ДОРАБОТАНА:** 01.08.2024  
**ПРИНЯТА:** 15.09.2024  
**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.09.2024

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



Л. Н. Харламова, М. Ю. Синельникова, Д. Ю. Матвеева

## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Квас является напитком брожения и содержит в своем составе нутрицевтические биологически активные соединения, экстрагируемые из исходного сырья и в процессе брожения. В настоящее время квас получают не только из зернового сырья, но и из ягодного и овощного. Свекла богата азотосодержащими, фенольными соединениями, в том числе бетанинами, органическими кислотами, а также сахарами и клетчаткой, содержит ряд макроэлементов и микроэлементов, витаминов. Возможность сохранения исходных свойств используемого сырья в напитках брожения изучено недостаточно.

**Цель:** исследовать состав свеклы для использования в технологии получения квасов, обладающих различными функциональными свойствами для изучения возможности использования свеклы в напитках брожения.

**Материалы и методы:** В работе использовались корнеплоды свеклы рода *Beta vulgaris* сорта Славянка урожая 2024 г. Экстракты свеклы были подвергнуты температурной обработке и обработке ультразвуком. Определен состав водных экстрактов образцов свекловичного жмыха, полученных в ходе обработки свеклы. Определение сухих веществ реализовывалось по ГОСТ 33977, массовую долю титруемых кислот – по ГОСТ ISO 750, содержание общих полифенолов – по ГОСТ Р 55488. Определение флавоноидов и рибофлавина осуществлялось колориметрически, а бетанина – спектрофотометрически при длине волны 535 нм.

**Результаты:** В результате ультразвуковой обработки увеличивалось содержание флавоноидов, катехинов, бетанина, рибофлавина. Массовая доля титруемых кислот увеличилась на 4,9% в свекольном экстракте. Массовая доля редуцирующих веществ возросла по сравнению с контрольным образцом на 0,47%.

**Выводы:** Применение свеклы в качестве сырья в технологии квасов позволит обогатить зерновое сусло фенольными соединениями, в состав которых войдут флавоноиды, катехины, бетанин, рибофлавин, редуцирующие сахара, органические кислоты, что скажется положительно на ферментативной активности дрожжей и биологической ценности получаемого кваса.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

квас; напиток брожения; свекла; фенольные соединения; бетанин; флавоноиды; катехины; рибофлавин; органические кислоты; ультразвуковая обработка; функциональные свойства; биологическая активность; ферментативная активность

# Study on the Effect of Ultrasonic Treatment on the Extraction of Beetroot (*Beta vulgaris*) Components for Subsequent Use in Fermented Beverages

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry – Branch of V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS, Moscow, Russian Federation

Larisa N. Kharlamova, Marina Yu. Sinebnikova, Daria Yu. Matveeva

## CORRESPONDENCE:

Larisa N. Kharlamova

E-mail: harlara@yandex.ru

## FOR CITATIONS:

Kharlamova, L. N., Sinebnikova, M.Yu., & Matveeva, D.Yu. (2024). Study on the effect of ultrasonic treatment on the extraction of Beetroot (*Beta vulgaris*) Components for subsequent use in fermented beverages. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 33-41. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.571>

RECEIVED: 03.02.2024

REVISED: 01.08.2024

ACCEPTED: 15.09.2024

PUBLISHED: 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** Kvass is a fermented beverage that contains nutraceutical bioactive compounds, which are extracted both from the original raw materials and during the fermentation process. Currently, kvass is produced not only from grain materials but also from berries and vegetables. Beetroot is rich in nitrogen-containing and phenolic compounds, including betanins, organic acids, sugars, fiber, and contains several macro- and microelements, as well as vitamins. The potential for preserving the original properties of raw materials in fermented beverages has not been sufficiently studied.

**Purpose:** To analyze the composition of beetroot for use in kvass production technology to create beverages with various functional properties and to explore the feasibility of using beetroot in fermented beverages.

**Materials and Methods:** The study used beetroot roots of the *Beta vulgaris* Slayyanka variety, harvested in 2024. Beetroot extracts were subjected to heat and ultrasonic treatments. The composition of the aqueous extracts of beet pulp samples obtained during beet processing was determined. Dry matter content was measured according to GOST 33977, titratable acidity according to GOST ISO 750, and total polyphenol content according to GOST R 55488. Flavonoid and riboflavin contents were determined colorimetrically, and betanin content was measured spectrophotometrically at a wavelength of 535 nm.

**Results:** Ultrasonic treatment resulted in increased levels of flavonoids, catechins, betanin, and riboflavin. The titratable acidity increased by 4.9% in the beet extract. The reducing substance content rose by 0.47% compared to the control sample.

**Conclusion:** Using beetroot as a raw material in kvass production can enrich the grain wort with phenolic compounds, including flavonoids, catechins, betanin, riboflavin, reducing sugars, and organic acids, positively influencing the enzymatic activity of yeast and the biological value of the resulting kvass.

## KEYWORDS

kvass; fermentation beverage; beetroot; phenolic compounds; betanin; flavonoids; catechins; riboflavin; organic acids; ultrasonic treatment; functional properties; biological activity; enzymatic activity

## ВВЕДЕНИЕ

Напитки брожения традиционно рассматриваются как важный источник питательных веществ, поскольку они содержат разнообразные биоактивные компоненты, способствующие поддержанию здоровья. Квас, являясь одним из таких напитков, включает в себя органические кислоты, витамины, аминокислоты и фенольные соединения, которые могут быть получены из исходного растительного сырья или образуются в процессе ферментации (Позднякова & Сенченко, 2019; Евграфова и др., 2019; Коротких и др., 2020). За последние десятилетия научный интерес к использованию незернового растительного сырья, особенно корнеплодов свеклы, в производстве кваса значительно возрос (Колесниченко и др., 2020; Еременко и др., 2021; Обрезкова и др., 2019). Согласно ГОСТ 31494–2012, применение такого сырья в производстве кваса допускается и регулируется.

Свекла (*Beta vulgaris*) представляет собой богатый источник биологически активных соединений, включая макро- и микроэлементы (натрий, магний, калий, медь, цинк, йод), витамины (Е, А, К, В, С, РР и фолиевая кислота), азотосодержащие соединения (включая бетанин и беталаин), фенольные соединения, каротиноиды и органические кислоты (Еременко и др., 2021; Ceclu et al., 2020; Tomaszewska et al., 2018; Glaser et al., 2024; Gruska et al., 2022). Содержание углеводов в свекле также привлекает внимание, поскольку она содержит сахарозу, которая является основным сбраживаемым углеводом и составляет более 98 % общего содержания сахаров, а также глюкозу и фруктозу в меньших количествах (Hoffmann et al., 2018). Исследования показывают, что в растительной матрице свеклы присутствуют кестоза, галактоза, трегалоза, раффиноза, глюкоза и арабиноза в различных формах и концентрациях (Gruska et al., 2022; Varyga, 2023).

Одним из важнейших биоактивных соединений свеклы является бетанин, который принадлежит к группе беталаинов и составляет до 95 % этих пигментов (Sawicki et al., 2016; Choińska et al., 2022). Химическая структура бетанина представляет собой гликозид бетанидина, связанный с глюкозой. Бетанин известен своими выраженными противовоспалительными, антиоксидантными и антиканцерогенными свойствами, что делает его важным нутрицевтическим компонентом (Соколова, 2022).

Полифенольные соединения в свекле представлены флавоноидами, включая апигенин, витексин и их производные, а также монофенольными кислотами и флавонолами, такими как кемпферол и кверцетин (Ninfali et al., 2017; Arjeh et al., 2022). Интересным является тот факт, что фенольные соединения в нативном свекольном соке преимущественно находятся в связанной форме, а процесс ферментации способствует увеличению содержания свободных форм этих соединений (Płatosz et al., 2020). Таким образом, ферментация позволяет сохранить антимуtagenные свойства свеклы и увеличить содержание пробиотических и витаминных соединений, что положительно влияет на пищевую ценность конечного продукта (Sobhy et al., 2020; Gamage et al., 2016).

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных изучению состава свеклы и её применения в производстве напитков брожения, остаются нерешенные вопросы относительно эффективности извлечения биоактивных компонентов и их сохранности при обработке. В этом контексте использование ультразвуковой обработки представляется перспективным методом, способным увеличить выход полезных соединений за счет разрушения клеточных стенок и повышения проницаемости растительных тканей. Ультразвук позволяет ускорить процесс экстракции и минимизировать потери ценных веществ за счет кратковременного воздействия и отсутствия высоких температур.

Целью данного исследования является изучение влияния ультразвуковой обработки на извлечение комплекса биоактивных соединений из свеклы с последующим использованием в производстве кваса. В ходе работы были сформулированы следующие исследовательские вопросы: какие соединения свеклы играют ключевую роль в функциональных свойствах её переработанных продуктов; какие методы извлечения нутрицевтических компонентов наиболее совместимы с технологическим процессом производства кваса; какие корреляции существуют между различными органическими соединениями свеклы.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

В работе использовались корнеплоды свеклы рода *Beta vulgaris* сорта Славянка урожая 2024 г., широко культивируемые на территории России. В качестве образцов использовали смешанный сок и экстракт, полученные из клубней свеклы, причем для исследования применялись только свежие, зрелые, неиспорченные образцы клубней.

### Оборудование

Для обработки жмыха свеклы использовалась ультразвуковая баня Skymen JP-040ST (Китай, 2023 г.)

Спектрофотометрические методы определения проводились на спектрофотометре Shimadzu UV 2600 (Япония, 2019) и фотоэлектроколориметр КФК 3-01 (Россия, 1990 г.) в диапазоне длин волн 200–700 нм.

Содержание сухих веществ в образцах определяли на рефрактометре СНЕЛ-104. Активную кислотность измеряли на рН-метре Testo 206-pH1.

### Методы

Определение сухих веществ проводилось по ГОСТ 33977<sup>1</sup>, массовая доля титруемых кислот (общая кислотность) — по ГОСТ ISO 750<sup>2</sup>, общих полифенолов — по ГОСТ Р 55488<sup>3</sup>, флавоноидов (в пересчете на апигенин) — по Шестакова и соавт. (2016), катехинов — по Маслянников и соавт. (2014), рибофлавина — по Крыльский и соавт. (2008), редуцирующих сахаров — по ГОСТ 34799<sup>4</sup>, бетанина — спектрофотометрическим методом.

### Процедура исследования

Для выделения органических соединений образец свеклы измельчался до размера частиц 2 мм, сок самотек фильтровался и объединялся в общую пробу. Жмых, полученный из корнеплодов после отделения сока самотеком, был разделен на три образца, равных по массе. Далее они подвергались обработке. Общими условиями обработки для трех образцов был гидромодуль экстракции (1:2), растворитель — 0,01% водный раствор лимонной кислоты с рН 5,6, время обработки — 20 мин. Способы обработки образцов различались. Первый образец (контроль) выдерживали при температуре  $(25 \pm 2)^\circ\text{C}$ , второй образец (опыт 1) — при  $(50 \pm 2)^\circ\text{C}$ , третий (опыт 2) — при той же температуре, что и второй, но в условиях ультразвука 60кГц. По истечению времени обработки образцы фильтровались и объединялись с соком самотеком, разделенным на 3 равных части. Образцы хранились при температуре  $(4 \pm 2)^\circ\text{C}$  в течение периода исследования. В образцах исследовалось содержание сухих веществ, кислотность, содержание полифенолов, в том числе флаваноидов, катехинов, бетанина, рибофлавина (витамина В<sub>2</sub>), редуцирующих соединений.

### Анализ данных

Статистические данные по полифенольному профилю экстрактов свеклы обрабатывались программой Statistics (Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA, 2006).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для получения экстрактов были использованы корнеплоды свеклы рода *Beta vulgaris* сорта Славянка урожая 2024 г. В дальнейшем экстракты свеклы были подвергнуты температурной обработке и обработке ультразвуком. Определен состав водных экстрактов образцов свекловичного жмыха, полученных в ходе обработки свеклы. Состав водных

<sup>1</sup> ГОСТ 33977–2016. (2016). Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения общего содержания сухих веществ. М.: Стандартинформ.

<sup>2</sup> ГОСТ ISO 750–2013. (2013). Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности. М.: Стандартинформ.

<sup>3</sup> ГОСТ Р 55488–2013 (2013). Прополис. Метод определения полифенолов. М.: Стандартинформ.

<sup>4</sup> ГОСТ 34799–2021 (2021). Продукция пивоваренная. Идентификация. Фотоэлектроколориметрический метод определения массовой концентрации β-глюкана. М.: Стандартинформ.

**Таблица 1**

Состав экстрактов образцов свеклы

**Table 1**

Composition of Beet Sample Extracts

Показатель	Содержание в образцах экстрактов свеклы (± допустимое отклонение)		
	контроль	опыт 1	опыт 2
Содержание сухих веществ %	5,0 ± 0,3	5,2 ± 0,3	5,3 ± 0,3
Содержание массовой доли титруемых кислот %	11,3 ± 0,2	13,5 ± 0,2	16,2 ± 0,2
Содержание редуцирующих веществ %	0,63 ± 0,04	1,02 ± 0,07	1,10 ± 0,08
Содержание рибофлавина (B <sub>2</sub> ), мг%	0,016 ± 0,001	0,019 ± 0,001	0,018 ± 0,001
Объем полученного экстракта при обработке жмыха, см <sub>3</sub>	220	225	240

**Таблица 2**

Полифенольный профиль экстрактов образцов свеклы

**Table 2**

Polyphenolic Profile of Beet Sample Extracts

Показатель	Содержание в образцах экстрактов из свеклы (± допустимое отклонение)		
	контроль	опыт 1	опыт 2
Содержание общих полифенолов, мг%	35,4 ± 3,1	39,8 ± 4,0	41,2 ± 4,0
Содержание флавоноидов (в пересчете на апигенин), мг%	0,032 ± 0,002	0,032 ± 0,002	0,117 ± 0,006
Содержание катехинов, мг%	0,0135 ± 0,001	0,0131 ± 0,001	0,0144 ± 0,001
Содержание бетанина, мг%	26,0 ± 1,3	20,7 ± 1,0	24,2 ± 1,2

экстрактов образцов свекловичного жмыха представлен в Таблицах 1 и 2.

Согласно данным Таблицы 1, содержание сухих веществ контроля и опытных образцов находится в пределах допустимых отклонений. Видно, как массовая доля титруемых кислот увеличилась благодаря ультразвуковой обработке жмыха, что говорит о пользе такой обработки относительно массовой доли титруемых кислот. Массовая доля титруемых кислот на 19% и 43% выше в опыте №1 и №2 соответственно по сравнению с контролем. Содержание редуцирующих веществ выше на 62–75% в опытных образцах по сравнению с контролем, а рибофлавина — для опытных образцов находится в пределах погрешности метода определения, но в среднем на 15,6% выше контрольного значения. Что говорит о том, что количество редуцирующих веществ и рибофлавина, увеличилось благодаря обработке образцов при температуре 50 °С, а применение ультразвука значимо не сказалось на увеличении дан-

ных показателей. Объем экстрактов жмыха опытных образцов на 2% и 9% выше в опыте №1 и опыте №2 соответственно по сравнению с контролем.

Данные Таблицы 2 демонстрируют, что содержание общих полифенолов в опытных образцах находится в пределах допустимых отклонений методов, а в среднем содержание полифенолов на 14,4% выше аналогичного значения в контроле. Содержание общих полифенолов выше в опытном образце № 2, что подтверждает экстракцию полифенолов при действии ультразвука, за счет разрушения клеточной стенки. Увеличение содержания флавоноидов происходит в образце №2 в 3,6 раз, а также катехинов — на 7% соответственно по сравнению с контролем и опытным образцом №1. Означает, что действие ультразвука, ведет к высвобождению их из клеток, повышая их биодоступность, а также вероятно увеличивает синтез вторичных метаболитов этих веществ. Содержание бетанина максимальное в контрольном образце, в опыте №1 и №2

оно ниже на 20% и 7% соответственно по сравнению с контролем. Отметим, что в опытных образцах, полученных при 50 °С, содержание бетанина снижается по сравнению с его значением в контроле. Согласно полученным данным, что снижение концентрации бетанина дает только нагревание, обработка ультразвуком не снижает его показатель.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты проведенного исследования демонстрируют потенциал свеклы как ценного сырья для производства ферментированных напитков, таких как квас. Обоснование применения свеклы в пищевой промышленности обусловлено ее богатым нутрицевтическим составом, который включает полифенолы, витамины и другие биологически активные соединения (Vaião et al., 2020). Полифенольные соединения, определяющие антиоксидантную активность свеклы, варьируют по содержанию в зависимости от сорта, климатических и агротехнических условий (Vaião et al., 2017). Общее содержание полифенолов, согласно литературным данным, колеблется от 720 до 3764 мг/кг (Jakubczyk et al., 2024). В исследованных образцах полифенольные соединения были выявлены в диапазоне 35,4–41,2 мг%, что согласуется с существующими данными.

Бетанин, основной представитель класса беталаинов, известен своей высокой эффективностью в ингибировании процессов перекисного окисления липидов (Vaião et al., 2017). Его стабильность в диапазоне pH от 3 до 7 делает его подходящим для использования в различных пищевых продуктах, включая напитки с кислой и нейтральной средой (Соколова, 2022). Однако важным недостатком бетанина является его термолабильность: при нагревании происходит декарбоксилирование молекулы с образованием необетанина, что приводит к утрате функциональных свойств (Aztatzi-Ruggerio et al., 2019). Полученные результаты подтвердили эту тенденцию: в образцах, подвергнутых обработке при температуре 50 °С, наблюдалось снижение содержания бетанина по сравнению с контрольными образцами при 25 °С. Важно отметить, что ультразвуковая обработка не снижала концентрацию бетанина, тогда как нагрев оказывал значительное влияние.

Флавоноиды, такие как витексин, рутин, эпикатехин, кверцетин и другие, также представляют собой зна-

чимую группу полифенольных соединений в свекле. Их общее содержание составляет 0,08 мг% (Patosz et al., 2020), что подтверждается полученными нами данными для образца №2 с ультразвуковой обработкой, согласующимися с литературными источниками. Применение воды, подкисленной лимонной кислотой до pH 5,6, в качестве экстрагента вероятно повлияло на степень экстракции фенольных соединений. Обычно в качестве экстрагента используются спиртовые растворы, однако в контексте квасного производства важно было понять, насколько эффективен водный раствор с pH, соответствующим суслу (5,4–5,6), для экстракции соединений.

Содержание эпикатехина в разных частях корнеплода варьирует, что было подтверждено Arjeh et al. (2022): в кожуре его содержание выше, чем в мякоти. Наши данные по эпикатехину (0,0253 мг%) находились в пределах литературы, хотя значения оказались несколько ниже заявленных Patosz et al. (2020), что объясняется сложностью процедуры извлечения фенольных соединений.

Ультразвуковая обработка показала свою эффективность в увеличении содержания органических соединений, включая титруемые кислоты. Увеличение содержания редуцирующих веществ и рибофлавина было минимальным и наблюдалось только при нагревании до 50 °С. Содержание редуцирующих соединений контрольного образца соответствовало значениям, приведенным в литературе (0,65%) (Бахарев и др., 2022). Содержание рибофлавина в наших образцах оказалось в 2,5 раза ниже заявленных данных (0,04 мг%) (Mirmiran et al., 2020), что можно объяснить условиями экстракции.

Ультразвуковая обработка жмыха свеклы увеличила выход растворенных соединений, подтверждая целесообразность использования этого метода для повышения эффективности извлечения полезных веществ. Полученные результаты свидетельствуют о возможности применения свеклы сорта Славянка для производства квасов с улучшенными нутрицевтическими характеристиками.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что ультразвуковая обработка свекловичного жмыха при температуре 50 °С и использовании воды с pH 5,6 (с добавле-

нием лимонной кислоты) способствует эффективной экстракции органических соединений, увеличению их содержания и объема экстракта. Установлено, что применяемая технология обработки совместима с процессом производства кваса и не требует дополнительных этапов подготовки для включения экстрактов в сусло.

Полученные результаты подтверждают, что использование свеклы в качестве добавочного сырья в технологии производства кваса может значительно обогатить зерновое сусло такими биоактивными соединениями, как флавоноиды, катехины, бетанин, рибофлавин, редуцирующие сахара и органические кислоты. Это оказывает положительное влияние на ферментативную активность дрожжей и повышает биологическую ценность готового напитка.

Однако следует отметить ряд ограничений исследования. Одним из основных ограничений является стабильность свекловичного сырья при его внесении в разрабатываемые напитки. Данная нестабильность может повлиять на содержание полифенолов, бетанинов и других биоактивных компонентов, что, в свою очередь, может отразиться на точности получаемых результатов и выводов.

Для будущих исследований рекомендуется дальнейшее изучение изменений количественного состава органических соединений на различных этапах технологического процесса — от сусла до готового кваса. Это позволит глубже понять влияние обработки и оптимизировать технологию для до-

стижения максимальной биологической активности и стабильности напитка.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Лариса Николаевна Харламова:** научное руководство исследованием, визуализация, редактирование рукописи, разработка методологии исследования.

**Марина Юрьевна Синельникова:** проведение исследования, написание — подготовка черновика рукописи, разработка методологии исследования, концептуализация.

**Дарья Юрьевна Матвеева:** программное обеспечение, работа с программным обеспечением, разработка методологии исследования, концептуализация.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Larisa N. Kharlamova:** supervision, visualization, editing of the manuscript, development of methodology.

**Marina Yu. Sinelnikova:** conducting research, writing — original draft preparation, development of methodology, conceptualization.

**Daria Yu. Matveeva:** software, working with software, development of methodology, conceptualization.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Бахарев, В. В., Воронина, М. С., Гуляева, А. Н., & Нафикова, О. А. (2022). Исследование физико-химических показателей свекольных выжимок после их дегидратации с последующей экструзией. *Индустрия питания*, 7(3), 25–31. <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-3-3>
- Bakharev, V. V., Voronina, M. S., Gulyaeva, A. N., & Nafikova, O. A. (2022). Study of physicochemical parameters of beet pomace after their dehydration followed by extrusion. *Food Industry*, 7(3), 25–31. (In Russ.). <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2022-7-3-3>
- Евграфова, В. Е., Колесниченко, М. Н., & Курцева, В. Г. (2020). Исследование влияния растительного сырья и пробиотических культур на процессы брожения при производстве хлебного кваса. *Ползуновский вест-*

*ник*, 4, 53–61. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.011>

Evgrafova, V. E., Kolesnichenko, M. N., & Kurtseva, V. G. (2020). Study of the influence of plant raw materials and probiotic cultures on fermentation processes in the production of bread kvass. *Polzunovsky Vestnik*, 4, 53–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.04.011>

Еременко, О. Н., Кох, Ж. А., Тарнопольская, В. В., & Демиденко, Н. Ю. (2021). Перспективы использования столовой свеклы в производстве функциональных напитков. *Ползуновский вестник*, 2, 102–109. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.014>

- Eremenko, O. N., Kokh, Zh. A., Tarnopolskaya, V. V., & Demidenko, N. Yu. (2021). Prospects for the use of table beetroot in the production of functional drinks. *Polzunovsky Vestnik*, 2, 102–109. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.014>
- Колесниченко, М. Н., & Каменская, Е. П. (2020). Перспективы использования плодов жимолости в производстве хлебного кваса. *Ползуновский вестник*, 1, 13–20. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.003>
- Kolesnichenko, M. N., & Kamenskaya, E. P. (2020). Prospects for the use of honeysuckle fruits in the production of bread kvass. *Polzunovsky Vestnik*, 1, 13–20. (In Russ.). <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.003>
- Коротких, Е. А., Новикова, И. В., Агафонов, Г. В., Коротких, Н. В., & Криваносов, И. Н. (2020). Интенсификация биотехнологии кваса с применением нетрадиционных видов сырья. *Вестник ВГУИТ*, 82(3), 123–130. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-123-130>
- Korotkikh, E. A., Novikova, I. V., Agafonov, G. V., Korotkikh, N. V., & Krivanosov, I. N. (2020). Intensification of kvass biotechnology using non-traditional types of raw materials. *VSUET Bulletin*, 82(3), 123–130. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-3-123-130>
- Крыльский, Д. В., Сливкин, А. И., & Брежнева, Т. А. (2008). *Практикум по фармацевтической химии (лекарственные вещества с гетероциклической структурой)*. Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета.
- Krylsky, D. V., Slivkin, A. I., & Brezhneva, T. A. (2008). *Practical training in pharmaceutical chemistry (medicinal substances with heterocyclic structure)*. Voronezh: Publishing and Printing Center of Voronezh State University. (In Russ.).
- Масляников, П. В., Чупахина, Г. Н., Скрыпник, Л. Н., Федуряев, П. В., & Селедцов, В. И. (2014). Экологический анализ активности накопления биофлавоноидов в лекарственных растениях. *Вестник Балтийского федерального университета им. К.И.Канта*, 7, 110–120
- Maslyannikov, P. V., Chupakhina, G. N., Skrypnik, L. N., Feduraev, P. V., & Seledtsov, V. I. (2014). Ecological analysis of bioflavonoid accumulation activity in medicinal plants. *Bulletin of the K. I. Kant Baltic Federal University*, 7, 110–120. (In Russ.).
- Обрезкова, М. В., Каменская, Е. П., & Вагнер, В. А. (2019). Разработка рецептуры кваса брожения с использованием концентрата свекольного сока. *Вестник КрасГАУ*, 9(150), 158–165.
- Obrezkova, M. V., Kamenskaya, E. P., & Wagner, V. A. (2019). Development of a recipe for fermented kvass using beetroot juice concentrate. *Vestnik KrasSAU*, 9(150), 158–165. (In Russ.).
- Позднякова, В. Ф., & Сенченко, М. А. (2019). Производство кваса с использованием заменителей сахара из растительного сырья, выращенного в условиях Ярославской области. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии*, 7(4), 55–63.
- Pozdnyakova, V. F., & Senchenko, M. A. (2019). Production of kvass using sugar substitutes from plant materials grown in the Yaroslavl region. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*, 7(4), 55–63.
- Соколова, Д. В. (2022). Динамические изменения содержания бетанина в столовой свекле в течение вегетационного периода: их взаимодействие с абиотическими факторами. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 26(1), 30–39. <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-05>
- Sokolova, D. V. (2022). Dynamic changes in betanin content in table beet during the growing season: their interaction with abiotic factors. *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*, 26(1), 30–39. (In Russ.). <https://doi.org/10.18699/VJGB-22-05>
- Шестакова, Т. С., Белоногова, В. Д., & Петриченко, В. М. (2016). Спектрофотометрический метод определения содержания флавоноидов в траве *Veronica chamaedrys* (*Scrophulariaceae*). *Медицинский альманах*, 1(41), 127–130.
- Shestakova, T. S., Belonogova, V. D., & Petrichenko, V. M. (2016). Spectrophotometric method for determining the content of flavonoids in the herb *Veronica chamaedrys* (*Scrophulariaceae*). *Medical Almanac*, 1(41), 127–130. (In Russ.).
- Arjeh, E., Khodaei, S. M., Barzegar, M., Pirsas, S., Karimi Sani, I., Rahati, S., & Mohammadi, F. (2022). Phenolic compounds of sugar beet (*Beta vulgaris* L.): Separation method, chemical characterization, and biological properties. *Food Science & Nutrition*, 10(12), 4238–4246. <https://doi.org/10.1002/fsn.3.3017>
- Aztatzi-Ruggerio, L., Granados-Balbuena, S. Y., Zainos-Cuapio, Y., Ocaranza-Sánchez, E., & Rojas-López, M. (2019). Analysis of the degradation of betanin obtained from beetroot using Fourier transform infrared spectroscopy. *Journal of Food Science and Technology*, 56(8), 3677–3686. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03826-2>
- Baião, D. D. S., de Freitas, C. S., Gomes, L. P., da Silva, D., Correa, A. C. N. T. F., Pereira, P. R., Aguila, E. M. D., & Paschoalin, V. M. F. (2017). Polyphenols from root, tubercles and grains cropped in Brazil: Chemical and nutritional characterization and their effects on human health and diseases. *Nutrients*, 9(9), 1044. <https://doi.org/10.3390/nu9091044>
- Baião, D. D. S., Silva, D. V. T., & Paschoalin, V. M. F. (2020). Beetroot, a remarkable vegetable: Its nitrate and phytochemical contents can be adjusted in novel formulations to Benefit Health and support cardiovascular disease therapies. *Antioxidants*, 9, 960. <https://doi.org/10.3390/antiox9100960>
- Baryga, A., Ziobro, R., Gumul, D., Rosicka-Kaczmarek, J., & Miśkiewicz, K. (2023). Physicochemical properties and evaluation of antioxidant potential of sugar beet pulp — Preliminary analysis for further use (future prospects). *Agriculture*, 13(5), 1039. <https://doi.org/10.3390/agriculture13051039>
- Ceclu, L., & Nistor, O.-V. (2020). Red beetroot: Composition and health effects — A review. *Journal of Nutritional Medicine and Diet Care*, 6, 043. <https://doi.org/10.23937/2572-3278.1510043>

- Choińska, R., Piasecka-Jóźwiak, K., Woźniak, Ł., Świder, O., Bartosiak, E., Bujak, M., & Roszko, M.Ł. (2022). Starter culture-related changes in free amino acids, biogenic amines profile, and antioxidant properties of fermented red beetroot grown in Poland. *Scientific Reports*, *12*, 20063. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-24690-9>
- Gamage, S. M., Mihirani, M. K. S., Perera, O. D. A. N., & Weerahewa, H. D. (2016). Development of synbiotic beverage from beetroot juice using beneficial probiotic *Lactobacillus Casei 431*. *Ruhuna Journal of Science*, *7*, 64–69. <https://doi.org/10.4038/rjs.v7i2.20>
- Glaser, S. J., Abdelaziz, O. Y., & Demoitié, C. (2024). Fractionation of sugar beet pulp polysaccharides into component sugars and pre-feasibility analysis for further valorisation. *Biomass Conversion and Biorefinery*, *14*, 3575–3588. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-02699-4>
- Gruska, R. M., Baryga, A., Kunicka-Styczyńska, A., Brzeziński, S., Rosicka-Kaczmarek, J., Miśkiewicz, K., & Sumińska, T. (2022). Fresh and stored sugar beet roots as a source of various types of mono- and oligosaccharides. *Molecules*, *27*(16), 5125. <https://doi.org/10.3390/molecules27165125>
- Jakubczyk, K., Melkis, K., Janda-Milczarek, K., & Skoniecznazydecka, K. (2024). Phenolic compounds and antioxidant properties of fermented beetroot juices enriched with different additives. *Foods*, *13*, 102. <https://doi.org/10.3390/foods13010102>
- Hoffmann, C. M., & Kenter, C. (2018). Yield potential of sugar beet — Have we hit the ceiling? *Frontiers in Plant Science*, *9*, 289. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00289>
- Mirmiran, P., Houshialsadat, Z., Gaeini, Z., Bahadoran, Z., & Azizi, F. (2020). Functional properties of beetroot (*Beta vulgaris*) in management of cardio-metabolic diseases. *Nutrition & Metabolism*, *17*, Article 3. <https://doi.org/10.1186/s12986-019-0421-0>
- Ninfali, P., Antonini, E., Frati, A., & Scarpa, E.S. (2017). C-Glycosyl Flavonoids from *Beta vulgaris* Cicla and Betalains from *Beta vulgaris* rubra: Antioxidant, anticancer and antiinflammatory activities — A review. *Phytother. Research*, *31*(6), 871–884. <https://doi.org/10.1002/ptr.5819>
- Łłatosz, N., Sawicki, T., & Wiczkowski, W. (2020). Profile of Phenolic acids and flavonoids of red beet and its fermentation products. Does long-term consumption of fermented beetroot juice affect phenolics profile in human blood plasma and urine? *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, *70*(1), 55–65. <https://doi.org/10.31883/pjfn/116613>
- Sawicki, T., Bączek, N., & Wiczkowski, W. (2016). Betalain profile, content and antioxidant capacity of red beetroot dependent on the genotype and root part. *Journal of Functional Foods*, *27*, 249–261. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.09.004>
- Sobhy, E. S., Abdo, E., Shaltout, O., Abdalla, A., & Zeitoun, A. (2020). Nutritional evaluation of beetroots (*Beta vulgaris* L.) and its potential application in a functional beverage. *Plants*, *9*(12), 1752. <https://doi.org/10.3390/plants9121752>
- Tomaszewska, J., Bieliński, D., Binczarski, M., Berłowska, J., Dziuganc, D., Piotrowski, J., Stanishevsky, A., & Witońska, I. A. (2018). Products of sugar beet processing as raw materials for chemicals and biodegradable polymers. *RSC Advance*, *8*, 3161–3177. <https://doi.org/10.1039/C7RA12782K>

# Изменение показателей качества черешни из Дагестана в зависимости от способов её замораживания, сроков хранения и сортовой принадлежности

Федеральный аграрный научный центр  
Республики Дагестан, г. Махачкала,  
Российская Федерация

Б. М. Гусейнова

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**  
Батуч Мухтаровна Гусейнова  
E-mail: batuch@yandex.ru

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**  
Гусейнова, Б. М. (2024). Изменение показателей качества черешни из Дагестана в зависимости от способов её замораживания, сроков хранения и сортовой принадлежности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 42-57. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.538>

**ПОСТУПИЛА:** 10.01.2024  
**ДОРАБОТАНА:** 17.08.2024  
**ПРИНЯТА:** 15.09.2024  
**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.09.2024

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

**ФИНАНСИРОВАНИЕ**  
Исследование выполнено в рамках государственного задания согласно тематическому плану ФГБНУ «ФАНЦ РД» по теме FNMN-2022-0009 «Создание новых сортообразцов плодовых культур, адаптированных к стрессовым факторам среды, разработка и освоение экологически безопасных и конкурентоспособных систем производства и переработки плодов, овощей и картофеля» (Номер государственной регистрации темы: 122022400196-7).



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Плоды черешни (*Prunus avium* L.) ценятся за богатый нутриентный состав и высокие товарно-потребительские качества, но относятся к скоропортящимся продуктам. В связи с этим разработана научно обоснованная стратегия длительного низкотемпературного хранения черешни без существенного изменения её полезных свойств и способствующей решению проблемы круглогодичного обеспечения населения ею, является актуальной задачей.

**Цель:** Изучить влияние различных режимов и способов замораживания (замораживание россыпью в воздушной среде (ВС) при  $t = -30; -33$  и  $-35$  °С; замораживание погружением в ЖХ при  $t = -24$  °С) и сроков холодильного хранения (3, 9 и 12 месяцев) при  $t = -24$  °С на сохранность исходных физико-химических и органолептических свойств плодов черешни в сортовом разрезе для разработки системы круглогодичного хранения черешни.

**Материалы и методы:** Исследовались плоды черешни сортов Валерий Чкалов, Гудзон, Крупноплодная, Полянка, Буйнакская черная, Дагестанка, Жемчужная и Лезгинка, собранные в экспериментальных насаждениях Дагестанской селекционной опытной станции плодовых культур. Содержание пектинов и витамина Р в черешне определяли химическими методами, а потерю сока – по разности массы замороженных и размороженных плодов. Дегустационную оценку давали по 5-ти балльной шкале.

**Результаты:** Наиболее оптимальными и экономически эффективными способами низкотемпературного консервирования черешни, изучаемых сортов, обеспечивающими хорошую сохранность физико-химических свойств плодов, оказались: замораживание в ВС при  $t = -33$  °С и погружением в ЖХ при  $t = -24$  °С. Снижение массовых концентраций витамина Р и пектинов в черешне после заморозки в ВС при  $t = -33$  °С и погружением в ЖХ при  $t = -24$  °С, по сравнению с замораживанием в ВС при  $t = -35$  °С, составило 2,2–2,9%, разница в потере сока 0,3–0,9%. Сохранность пектинов в плодах после 12 месяцев холодильного хранения зависела от сорта, способов замораживания и составила: 83,7 (Жемчужная) – 89,0% (Дагестанка) (ВС) и 84,4 (Жемчужная) – 88,2% (Дагестанка) (ЖХ), а витамина Р 88,6 (Жемчужная) – 92,9% (Лезгинка) (ВС) и 85,5 (Жемчужная) – 90,8% (Дагестанка) (ЖХ). К концу эксперимента наиболее высокие общие дегустационные оценки (4,4–4,7 балла) получили плоды черешни сортов Дагестанка, Валерий Чкалов и Лезгинка, оказавшиеся лучшими по влагоудерживающей способности, сохранности витамина Р и пектинов.

**Выводы:** Полученные данные послужат исходным ориентиром для использования в технологиях низкотемпературного консервирования черешни с учетом сортовых особенностей и с позиции сохранения на хорошем уровне ее исходных физико-химических и органолептических характеристик.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

черешня (*Prunus avium* L.); сорт черешни; показатели качества; низкотемпературное замораживание; методы и режимы замораживания; холодильное хранение черешни

# Change in the Quality Indicators of Sweet Cherries from Dagestan Depending on Its Freezing Methods, Shelf life and Variability

Dagestan Agriculture Science Center,  
Makhachkala, Russian Federation

Batuch M. Guseynova

## CORRESPONDENCE:

**Batuch M. Guseynova**

E-mail: batuch@yandex.ru

## FOR CITATIONS:

Guseynova, B. M. (2024). Change in quality indicators of sweet cherries from Dagestan depending on its freezing methods, shelf life and variability. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 42-57.  
<https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.538>

**RECEIVED:** 10.01.2024

**REVISED:** 17.08.2024

**ACCEPTED:** 15.09.2024

**PUBLISHED:** 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.

## FUNDING

The study was carried out within the framework of the state assignment according to the thematic plan of the Federal Agriculture Research Center of the Republic of Dagestan on the topic FNMN-2022-0009 «The creation of new varieties of fruit crops adapted to environmental stressors, development and implementation of environmentally friendly and competitive systems for the production and processing of fruits, vegetables and potatoes» (Topic state registration number: 122022400196-7)



## ABSTRACT

**Background:** Sweet cherries (*Prunus avium L.*) are valued for their rich nutrient composition and high consumer qualities. As they are perishable products, it is urgent to develop a scientifically based strategy for the long-term low-temperature storage of sweet cherries without a significant change in their useful properties and contribute to solving the problem of the year-round provision of the population with it.

**Purpose:** To study the effect of various freezing modes and methods (freezing in bulk in the AE at  $t = -30$ ;  $-33$  and  $-35$  °C; freezing by immersion in LC at  $t = -24$  °C) and the periods of refrigeration storage (3, 9 and 12 months) at  $t = -24$  °C on the preservation of initial physicochemical and organoleptic properties of sweet cherry fruits in varietal section for the development of a system of year-round sweet cherry storage.

**Materials and Methods:** Sweet cherry fruits of varieties Bujnakskaia chernaja, Valerij Chkalov, Gudzon, Dagestanka, Zhemchuzhnaja, Krupnoplodnaja, Lezginka and Poljanka, collected in the experimental plantings of the Dagestan selection experimental station of fruit crops, were studied. The content of pectins and vitamin P in sweet cherries was determined by chemical methods, and the loss of juice was determined by the difference in mass of frozen and defrosted fruits. The tasting score was given on a 5-point scale.

**Results:** The most optimal and cost-effective methods of low-temperature preservation of the studied varieties of sweet cherries, ensuring good preservation of the physicochemical properties of fruits, appeared to be freezing in the AE at  $t = -33$  °C and immersion in LC at  $t = -24$  °C. The decrease in mass concentrations of vitamin P and pectin substances in fruits after their freezing in the AE at  $t = -33$  °C and immersion in LC at  $t = -24$  °C compared to the frozen in the AE at  $t = -35$  °C was 2.2–2.9%, while the difference in juice loss was – 0.3–0.9%. The preservation of pectins in fruits by the end of 12 months of cold storage depended on the variety and methods of freezing and amounted to: 83.7 (Pearl) – 89.0% (Dagestanka) (AE) and 84.4 (Zhemchuzhnaja) – 88.2% (Dagestanka) (LC), and vitamin P – 88.6 (Zhemchuzhnaja) – 92.9% (Lezginka) (AE) and 85.5 (Zhemchuzhnaja) – 90.8% (Dagestanka) (LC). By the end of the experiment, the highest overall tasting ratings (4.4–4.7 points) were received by Dagestanka, Valerij Chkalov and Lezginka sweet cherries varieties. They were also the best in terms of moisture retention, the preservation of vitamin P and pectins.

**Conclusion:** The obtained data will serve as a reference point for the use in low-temperature preservation technologies for sweet cherries, taking into account varietal characteristics and from the standpoint of preserving its original physicochemical and organoleptic characteristics at a good level.

## KEYWORDS

sweet cherries (*Prunus avium L.*); sweet cherry variety; quality characteristics; low-temperature freezing; freezing methods and modes; refrigeration storage of sweet cherries

## ВВЕДЕНИЕ

В последние годы наблюдается возросший интерес к продуктам питания, которые, помимо выполнения основных питательных функций, содержат высокие уровни антиоксидантов, фитонцидов, витаминов, минеральных веществ, иммуномодуляторов и других биологически активных компонентов. Этот тренд обусловлен нарастающей физиологической потребностью организма современного человека в микронутриентах, что связано с несбалансированным рационом питания, ухудшением экологических условий, ростом нервно-эмоциональных нагрузок и изменением ритма жизни (Коденцова и др., 2020; Тутельян и др., 2020; Johnson-Down et al., 2019; Tam et al., 2020).

Флодоовощное сырье представляет собой важнейший источник биологически активных соединений и характеризуется сложным химическим составом, включающим витамины, минералы и другие полезные вещества, влияющие на органолептические качества и общее состояние организма (Праскова и др., 2021; Yeung et al., 2019; Акимов, 2020; Гусейнова & Мусаева, 2023). Регулярное употребление растительной пищи в достаточных количествах способно снижать риск развития алиментарно-зависимых заболеваний, таких как сердечно-сосудистые, желудочно-кишечные и онкологические болезни (Chareonrungrueangchai et al., 2020; Сметнева и др., 2020; Zurbau et al., 2020).

Согласно рекомендациям Пирамиды здорового питания, в ежедневный рацион человека должно входить не менее 400 г фруктов и овощей. Достижение уровня потребления свыше 800 г в сутки могло бы предотвратить до 7,8 млн случаев преждевременной смерти в мире (Aune et al., 2017). Однако в ряде стран Европы, включая Россию, фактическое потребление растительных продуктов ниже 400 г в сутки, а в некоторых регионах эта цифра составляет менее 300 г (Vacchetti et al., 2019). Согласно современным требованиям здорового питания в России, годовая норма потребления фруктов и ягод должна составлять 100 кг на одного человека, однако, по данным Росстата, в 2022 году фактическое

потребление составляло лишь 63% от медицинской нормы<sup>1</sup>.

Черешня (*Prunus avium* L.) занимает особое место среди плодово-ягодных культур благодаря своим ранним срокам созревания, высоким вкусовым и питательным свойствам, что делает ее популярной среди потребителей. По данным Минсельхозпрода Республики Дагестан, черешневые сады занимают около 1000 га и дают ежегодный урожай в пределах 2,5–3 тыс. тонн. Удельный вес черешни среди косточковых культур Дагестана составляет 12%. Плоды черешни известны своим высоким антиоксидантным потенциалом и противовоспалительными свойствами, обусловленными содержанием витаминов С и Р, полифенолов и антоцианов. Концентрация витамина С может достигать 6–8 мг %, а в некоторых сортах — до 12,5 мг %, содержание витамина Р варьируется от 30,9 до 126,0 мг % (Быкова и др., 2017; Причко & Алехина, 2018; Заремук & Доля, 2021; Гусейнова & Мусаева, 2023). Содержание фенольных соединений колеблется от 10,0 до 323,5 мг %, что придает плодам выраженные антиоксидантные свойства (Ballistreri et al., 2013). Черешня также содержит значительное количество пектинов (до 0,7%) и минеральных веществ, включая соли калия, кальция, магния и железа. Высокое содержание железа делает черешню эффективным продуктом при железодефицитной анемии, а способность к накоплению йода способствует ее использованию при заболеваниях щитовидной железы (Киселева и др., 2007). Низкий гликемический индекс черешни делает ее подходящей для диетического питания, включая диабетические рационы (Причко & Алехина, 2018; Заремук & Доля, 2021; Гусейнова & Мусаева, 2023).

Одним из основных ограничений использования черешни в течение всего года является ее требовательность к условиям хранения. Замораживание является самым распространенным и эффективным методом сохранения качества, снижения потерь и продления срока потребления плодово-овощной продукции (Vaishali et al., 2020; Yashmita & Pradeep, 2023; Mamatov et al., 2020; Гусейнова и др., 2021; Гусейнова и др., 2022). Мировой объем рынка замороженных фруктов и овощей в 2023 году до-

<sup>1</sup> Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания: Приказ Минздрава России от 19.08.2016 № 614. Законодательство Российской Федерации. URL: <https://rulaws.ru/acts/Prikaz-Minzdrava-Rossii-ot19.08.2016-N-614>.

стиг 4,31 млрд долларов США, демонстрируя рост на 6,7%. Это требует от ученых создания инновационных, экономически эффективных и высокотехнологичных методов замораживания (Celli et al., 2016). На выбор метода замораживания и его влияние на качество сырья влияют предварительная обработка, сроки и температурные режимы хранения, а также способы дефростации (Simona et al., 2016; Rayman et al., 2020; Гусейнова и др., 2021). Существуют четыре основных способа замораживания: статическая заморозка, шоковая заморозка (IQF), замораживание в жидком хладоносителе и криогенное замораживание (Bilbao-Sainz et al., 2019; Arevström et al., 2019; Celli et al., 2016).

Шоковая заморозка является наиболее эффективной, так как формирует мелкокристаллическую структуру, обеспечивающую сохранность клеточной структуры и физических свойств продукта (Vaishali et al., 2020). Замораживание в жидком хладоносителе позволяет максимально быстро снизить температуру продукта и сохранить его исходные свойства (Simona et al., 2016). Не все сорта подходят для замораживания, так как могут происходить необратимые изменения их свойств, что ухудшает качество после оттаивания (Adkison et al., 2018; Гусейнова и др., 2021).

Цель исследования: изучить влияние различных режимов и способов замораживания и сроков хранения на сохранность физико-химических и органолептических свойств плодов черешни для разработки системы круглогодичного хранения.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

### Объекты исследования

Изучали черешню восьми сортов (Валерий Чкалов, Гудзон, Крупноплодная, Полянка, Буйнакская черная, Дагестанка, Жемчужная и Лезгинка), выращиваемых в экспериментальных насаждениях Дагестанской селекционной опытной станции плодовых культур. Исследовали физико-химические свойства плодов черешни как в свежем виде, так и после замораживания погружением в ЖХ (водно-спиртово-сахарный раствор в соотношении 65:20:15) при  $t = -24^{\circ}\text{C}$ ; замораживания россыпью в воздушной среде (BC) при  $t = -30; -33$  и  $-35^{\circ}\text{C}$ ; а также после 3, 9 и 12 месяцев хранения при  $t = -22^{\circ}\text{C}$ . Свежие

плоды черешни по качеству и по показателям безопасности для жизни и здоровья человека отвечали требованиям ГОСТ 33801–2016.

### Оборудование

При проведении исследований по определению массовой концентрации пектиновых веществ в объектах исследований использовано следующее оборудование: весы лабораторные Ohaus PA2102C (Китай); весы лабораторные CAS MWP MWP-300H (Южная Корея); баня водяная Biosan WB-4MS (Латвия); лабораторный сушильный шкаф Climcontrol ШС 30/250–100-Л Тор (Россия); центрифуга лабораторная ЭКРОС-6914 (Россия); термометр лабораторный ТЛ5 (Россия); плита программируемая ПЛП-03 НПП «Томьяналит» (Россия) и термостат MIR-262 Sanyo (Япония). Фотоэлектрический колориметр «ФЭК-56М» (Россия) применяли при определении в плодах черешни содержания витамина Р.

### Методы

#### Биохимические параметры

Массовую концентрацию пектиновых веществ в плодах черешни сразу после сбора и низкотемпературного замораживания, а также длительного холодильного хранения определяли — титрованием щелочью предварительно выделенных и подготовленных для анализа пектиновых веществ до и после гидролиза, ГОСТ 29059–911; а массовую концентрацию витамина Р — колориметрическим методом с использованием прибора «ФЭК-56М» (Россия).

#### Сенсорный анализ

Дегустационную оценку замороженной черешни проводили по 5-ти балльной шкале с учетом требований ГОСТ ISO 6658–20163 в помещении без посторонних запахов и хорошо освещенном. Каждый опытный образец оценивался по показателям: внешний вид, цвет, вкус, аромат и консистенция мякоти. На оценку каждого показателя отводилось 5 баллов. Были выведены средние баллы по всем показателям (общие дегустационные оценки): 1,0–2,0 — отход; 2,1–3,4 — непригодны для замораживания; 3,5–3,9 — удовлетворительная пригодность; 4,0–4,4 — хорошая пригодность; 4,5–5,0 — отличная пригодность.

### **Оценка влагоудерживающей способности замороженных плодов при дефростации**

Потерю сока (X, %) замороженными плодами черешни после дефростации определяли по разности массы замороженных и размороженных плодов, выраженной в процентах к исходной массе плода, пользуясь следующей формулой:

$$X = (M1 - M2)/(M1 - M_k) \cdot 100,$$

где M1 — масса замороженных плодов черешни до дефростации, г; M2 — масса замороженных плодов черешни после дефростации, г; M<sub>k</sub> — масса косточек плодов черешни, г.

Влагоудерживающую способность (%) определяли, отнимая из 100 % величину показателя потери сока (X, %).

### **Процедура исследования**

Подготовку опытных образцов черешни для проведения научных исследований, направленных на изучение влияния различных способов замораживания, а также сроков холодильного хранения на физико-химические и органолептические показатели качества плодов с учетом их сортовых особенностей, осуществляли следующим образом:

- (1) сортировка, мойка и подсушивание — плоды черешни сортировали, удаляли плодоножки, мыли водопроводной водой и подсушивали;
- (2) замораживание плодов черешни разными способами:
  - (а) погружением в жидкий хладоноситель (ЖХ) — в полистироловые емкости (объем 1000 мл) заливали жидкий хладоноситель (водно-спиртово-сахарный раствор в соотношении 65:20:15) при температуре  $-24^{\circ}\text{C}$ , а затем погружали свежие плоды черешни до полного покрытия поверхностного слоя плодов ЖХ, после этого емкости направляли в морозильную камеру RENOVA FC-310S для замораживания при температуре  $t = -24^{\circ}\text{C}$ ;
  - (б) в воздушной среде (ВС) — замораживание плодов черешни россыпью (толщина слоя 3–4 см) в низкотемпературном шкафу GRUNLAND T 25/01.1 (Германия) при  $t = -30^{\circ}\text{C}$ ;  $t = -33^{\circ}\text{C}$ ;  $t = -35^{\circ}\text{C}$  до до-

стижения в центре плода температуры  $-22^{\circ}\text{C}$ , которую определяли полупроводниковым измерителем ИТ-1 со шкалой от  $t = -190$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ;

- (3) упаковка плодов черешни замороженных россыпью в воздушной среде (ВС) при  $t = -33^{\circ}\text{C}$  в полиэтиленовые пакеты по 0,5 кг перед отправкой их на хранение при  $t = -22^{\circ}\text{C}$ , а плоды черешни, предварительно замороженные в жидком хладоносителе (ЖХ) при  $t = -24^{\circ}\text{C}$  в полистироловых емкостях, в таком же виде направляли на холодильное хранение;
- (4) хранение замороженных плодов черешни как россыпью в ВС при  $t = -33^{\circ}\text{C}$ , так и погружением в ЖХ при  $t = -24^{\circ}\text{C}$  в холодильной камере RENOVA FC-310S в течение 3, 9 и 12 месяцев при температуре  $-22^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха 90–95 %;
- (5) замороженные плоды черешни, перед проведением оценки их качества по физико-химическим и органолептическим показателям, оттаивали до достижения в центре плода температуры  $4-5^{\circ}\text{C}$ .

### **Анализ данных**

Все измерения проводили на трех параллельных выборках для каждой переменной, и результаты исследований были представлены в виде среднего значения (M) и стандартной ошибки среднего значения ( $\pm m$ ). Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с помощью пакета программ SPSS 12.0 для Windows. Достоверность полученных отличий устанавливали по t-критерию Стьюдента. Статистически значимыми считали различия при  $P \leq 0,05$ .

## **РЕЗУЛЬТАТЫ**

### **Сортовые особенности изменения содержания пищевых веществ в плодах черешни при различных режимах и способах замораживания**

Важнейшими биохимическими компонентами плодовых культур являются пектиновые вещества, составляющие основу структуры клеточной стенки, которая выполняет формообразовательную функцию, регулирует водообмен. Пектины являются

гидрофильными соединениями, способными адсорбировать пятнадцатикратное по весу количество воды, участвующими в процессе гелеобразования, что увеличивает способность растительной ткани удерживать влагу и повышает обратимость процесса замораживания (Gubanenko et al., 2021). Кроме того, пектины также являются одними из основных компонентов пищи, обладающими протекторным действием по отношению к тяжелым металлам, канцерогенным соединениям и радионуклидам. Поэтому представляло интерес определение содержания пектиновых веществ как в свежих плодах исследуемых сортов черешни, так и после низкотемпературного замораживания и длительного холодильного хранения.

Технологические требования, предъявляемые сортам черешни, предназначенным для переработки и замораживания, предусматривают содержание в её плодах не менее 0,8% пектиновых веществ (Мегердичев, 2003). Этим требованиям отвечало большинство из опытных образцов плодов, за исключением черешни сортов Гудзон и Жемчужная. Наиболее высокие концентрации пектинов определены в плодах сортов Лезгинка (0,97%) и Крупноплодная (0,95%), а наименьшее количество в сорте Гудзон (0,72%). Сортное различие по concentra-

ции пектиновых соединений для черешни исследованных сортов — 1,6 раза (Таблица 1).

При всех примененных способах и температурных режимах замораживания, наблюдалось уменьшение содержания пектинов. Направленность изменения концентрации этих веществ в процессе замораживания у всех сортов черешни оказалась идентичной и не зависела от условий и приемов замораживания. Наибольшие потери пектинов (6,1–10,8%) выявлены при замораживании в ВС морозильной камеры ( $t = -30^\circ\text{C}$ ), а наилучшая их сохранность (94,4–96,8%) определена в черешне, замороженной в ВС ( $t = -35^\circ\text{C}$ ). В опытных образцах, замороженных погружением в ЖХ ( $t = -24^\circ\text{C}$ ), также наблюдалась хорошая сохранность пектинов, что в зависимости от сорта составило 93,4–95,2% от их содержания в свежих плодах.

Черешня входит в десятку продуктов, богатых Р-активными веществами, наряду с лимоном, грейпфрутом, абрикосом, шиповником, чёрной смородиной и т.д. (Ballistreri, 2013; Гусейнова & Мусаева, 2023). Поэтому было интересно изучить влияние различных режимов и способов замораживания на динамику содержания витамина Р в плодах различных сортов черешни, культивируемых в Дагестане. Как

**Таблица 1**

Изменение содержания пектиновых веществ в плодах черешни, выращиваемой в Дагестане, в процессе замораживания разными способами и температурными режимами

**Table 1**

Changes in Pectin Content in Sweet Cherries Grown in Dagestan during Freezing Using Different Methods and Temperature conditions

Сорт черешни	Массовая концентрация пектиновых веществ в плодах черешни, %				
	Свежие плоды	Замороженные погружением в ЖХ при $t = -24^\circ\text{C}$	Замороженные россыпью в ВС при $t = -30^\circ\text{C}$	Замороженные россыпью в ВС при $t = -33^\circ\text{C}$	Замороженные россыпью в ВС при $t = -35^\circ\text{C}$
Буйнакская черная	0,82 ± 0,013	0,78 ± 0,013	0,77 ± 0,010	0,78 ± 0,009	0,79 ± 0,009
Валерий Чкалов	0,87 ± 0,014	0,82 ± 0,016	0,80 ± 0,011	0,83 ± 0,011	0,83 ± 0,012
Гудзон	0,72 ± 0,009	0,68 ± 0,012	0,65 ± 0,009	0,68 ± 0,008	0,69 ± 0,010
Дагестанка	0,90 ± 0,014	0,85 ± 0,014	0,84 ± 0,015	0,86 ± 0,013	0,85 ± 0,011
Жемчужная	0,78 ± 0,011	0,73 ± 0,012	0,72 ± 0,014	0,73 ± 0,008	0,74 ± 0,012
Крупноплодная	0,95 ± 0,016	0,89 ± 0,015	0,87 ± 0,014	0,90 ± 0,017	0,91 ± 0,016
Лезгинка	0,97 ± 0,017	0,92 ± 0,017	0,91 ± 0,016	0,92 ± 0,017	0,94 ± 0,015
Полянка	0,83 ± 0,013	0,79 ± 0,013	0,74 ± 0,012	0,80 ± 0,015	0,80 ± 0,013

Таблица 2

Изменение содержания витамина Р в плодах черешни, выращиваемой в Дагестане, в процессе замораживания разными способами и температурными режимами

Table 2

Changes in Vitamin P content in Sweet Cherries Grown in Dagestan during Freezing Using Different Methods and Temperature Conditions

Сорт черешни	Массовая концентрация витамина Р в плодах черешни, мг/100 г				
	Свежие плоды	Замороженные погружением в ЖХ при t = -24 °С	Замороженные россыпью в ВС при t = -30 °С	Замороженные россыпью в ВС при t = -33 °С	Замороженные россыпью в ВС при t = -35 °С
Буйнакская черная	50,2 ± 0,87	47,3±0,53	46,3±0,46	47,9±0,64	48,7±0,73
Валерий Чкалов	70,3 ± 0,94	66,2±0,64	64,7±0,77	67,1±0,73	67,8±0,80
Гудзон	89,6 ± 0,96	84,0±0,79	82,1±0,90	83,7±0,90	85,2±0,92
Дагестанка	42,0 ± 0,67	38,6±0,50	38,6±0,44	39,0±0,58	40,2±0,61
Жемчужная	52,0 ± 0,79	48,5±0,55	47,3±0,53	48,3±0,67	49,2±0,66
Крупноплодная	67,1 ± 0,93	62,4±0,71	61,6±0,83	63,5±0,88	64,1±0,90
Лезгинка	54,5 ± 0,86	51,8±0,59	50,6±0,61	52,1±0,65	52,5±0,74
Полянка	51,8 ± 0,78	48,8±0,49	47,8±0,50	49,0±0,60	49,5±0,72

видно из Таблицы 2, по массовой концентрации витамина Р свежие плоды существенно отличались друг от друга. Сортовое различие — 2,1 раза. Самое большое количество витамина Р было выявлено в черешне сорта Гудзон (89,6 мг/100г), а наименьшее в сорте Дагестанка (42,0 мг/100 г). Средний показатель Р-витаминности для изученного сорта составил 59,7 мг/100 г.

В процессе низкотемпературного замораживания при примененных способах и температурных режимах во всех опытных образцах черешни наблюдалось уменьшение количества витамина Р (Таблица 2). Также, как и для пектиновых веществ, наилучшая сохранность витамина Р — 93,8–97,0% от содержания в свежих плодах, была обнаружена в черешне, замороженной россыпью в воздушной среде (t = -35 °С), а наихудшая — в пределах 91,0–92,8%, в плодах, подвергнутых низкотемпературной обработке в ВС морозильной камеры при температуре -30 °С.

Снижение массовых концентраций витамина Р в черешне после её шоковой заморозки россыпью в ВС (t = -33 °С) и погружением в ЖХ (t = -24 °С), по сравнению с содержанием этого витамина

в плодах, замороженных в ВС при t = -35 °С, составило в среднем 2,5–3,2% (Таблица 2).

### Изменение влагоудерживающей способности плодов черешни при различных режимах и способах замораживания

Одним из показателей, характеризующих пригодность плодовоовощных культур к замораживанию, является влагоудерживающая способность их плодов при дефростации. На этот показатель значительное влияние, наряду с биологическими особенностями сорта (прочность кожицы, консистенция мякоти и соотношения свободной и связанной воды в плодах), оказывают также способы и режимы замораживания, сроки и условия холодильного хранения (Гусейнова и др., 2021).

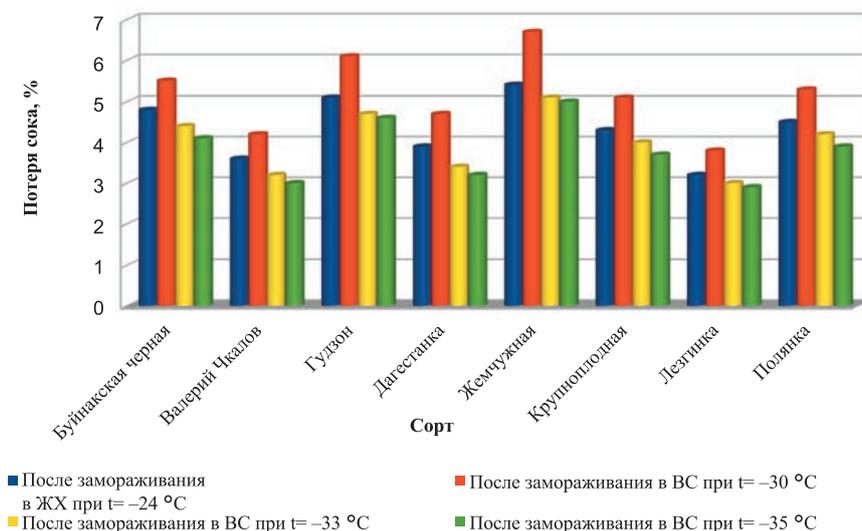
Динамику влагоудерживающей способности плодов наиболее перспективных сортов черешни из Дагестана, в процессе замораживания разными способами и режимами иллюстрирует Рисунок 1. Низкотемпературное замораживание черешни в воздушной среде при t = -33 °С и t = -35 °С, способствовало хорошему сохранению влагоудержи-

**Рисунок 1**

*Потеря сока при дефростации плодов черешни замороженных разными способами*

**Figure 1**

Juice Loss during Defrosting of Sweet Cherries Frozen Using Different Methods



*Примечание.* Стандартная ошибка среднего значения для показателя потери сока составила 0,042...0,083 %.

*Note.* The standard error of the mean for juice loss was 0.042–0.083 %.

вающей способности, соответственно, в зависимости от температурного режима, на уровне 95,3 (Гудзон) — 97,0% (Лезгинка); 95,0 (Жемчужная) — 97,1% (Лезгинка). Однако в плодах, замороженных методом погружения в ЖХ при  $t = -24^{\circ}\text{C}$ , разница в потере сока, по сравнению с плодами, замороженными россыпью в ВС при  $t = -35^{\circ}\text{C}$ , была незначительной и составила 0,3–0,7%. Наименьшая влагоудерживающая способность определена у черешни, замороженной в ВС при  $t = -30^{\circ}\text{C}$ . Потеря сока, в зависимости от сорта, варьировалась в пределах 3,8 (Лезгинка) — 6,7% (Жемчужная).

Анализ полученных экспериментальных данных показал, что, хотя самая высокая сохранность изученных пищевых веществ и самые незначительные потери сока в процессе дефростации были определены в плодах исследованного сортимен-та черешни после их низкотемпературной обработки при  $t = -35^{\circ}\text{C}$ , другие примененные способы и режимы замораживания (россыпью в ВС при  $t = -33^{\circ}\text{C}$  и погружением в ЖХ при  $t = -24^{\circ}\text{C}$ ) также обеспечили хорошую стабильность физико-химических показателей плодов. Кроме того, они являются более экономичными по энергоза-

трапам в сравнении с применением  $t = -35^{\circ}\text{C}$ . Поэтому в следующем этапе исследований, изучающем влияние длительности периода холодильного хранения плодов черешни на их органолептические показатели, сокоудерживающую способность и динамику пищевых веществ в них, заморозку черешни проводили как россыпью в ВС морозильной камеры при  $t = -33^{\circ}\text{C}$ , так и погружением в ЖХ при  $t = -24^{\circ}\text{C}$ .

### Изменение физико-химических и органолептических показателей качества черешни в процессе длительного холодильного хранения

Пектиновые вещества неоднозначно реагировали на продолжительность холодильного хранения (3, 9 и 12 месяцев) при  $t = -22^{\circ}\text{C}$ . В начальный период, длившийся в течение трех месяцев, в плодах всех сортов черешни произошло незначительное увеличение их количества, в зависимости от сорта, способов и режимов низкотемпературной обработки — на 3,6–5,0% (плоды, замороженные россыпью в ВС при  $t = -33^{\circ}\text{C}$ ) и 4,3–6,1% (плоды, заморожен-

ные погружением в ЖХ при  $t = -24^\circ\text{C}$ ), по сравнению с содержанием пектинов в опытных образцах сразу после замораживания (Таблицы 1 и 3). Последующее хранение черешни при  $t = -22^\circ\text{C}$  в течение 9 и 12 месяцев привело к снижению концентрации пектинов в ней. К концу 12 месяцев хранения количество пек-

тиновых веществ уменьшилось в среднем на 12,7–13,0%, по сравнению с их содержанием в свежих плодах. Наиболее богатыми пектиновыми веществами (0,80–0,86%), после 12 месяцев холодильного хранения, оказались плоды черешни сортов Дагестанка, Крупноплодная и Лезгинка (Таблица 3).

**Таблица 3**

Изменение в процессе холодильного хранения ( $t = -22^\circ\text{C}$ ) массовых концентраций пектинов и витамина Р в плодах черешни, предварительно замороженных россыпью в ВС при  $t = -33^\circ\text{C}$  и погружением в ЖХ при  $t = -24^\circ\text{C}$

**Table 3**

Changes in the Mass Concentrations of Pectins and Vitamin P in Sweet Cherries during Cold Storage ( $t = -22^\circ\text{C}$ ), Previously Frozen in Bulk in the AE at  $t = -33^\circ\text{C}$  and by Immersion in LC at  $t = -24^\circ\text{C}$

Сорт черешни	Пектиновые вещества, %		Витамин Р, мг/100г	
	замороженные россыпью в ВС при $t = -33^\circ\text{C}$	замороженные погружением в ЖХ при $t = -24^\circ\text{C}$	замороженные россыпью в ВС при $t = -33^\circ\text{C}$	замороженные погружением в ЖХ при $t = -24^\circ\text{C}$
<i>После 3 месяцев холодильного хранения при <math>t = -22^\circ\text{C}</math></i>				
Буйнакская черная	0,81±0,016	0,82±0,017	45,4±0,76	44,7±0,71
Валерий Чкалов	0,86±0,018	0,86±0,016	63,9±0,80	62,9±0,93
Гудзон	0,71±0,014	0,71±0,014	78,2±0,79	78,7±0,60
Дагестанка	0,90±0,015	0,91±0,019	37,3±0,59	37,0±0,66
Жемчужная	0,77±0,014	0,76±0,013	45,2±0,66	45,1±0,75
Крупноплодная	0,94±0,017	0,94±0,016	61,0±0,89	59,7±0,76
Лезгинка	0,96±0,017	0,96±0,018	49,9±0,85	49,3±0,81
Полянка	0,83±0,015	0,84±0,014	46,6±0,72	46,0±0,69
<i>После 9 месяцев холодильного хранения при <math>t = -22^\circ\text{C}</math></i>				
Буйнакская черная	0,76±0,015	0,75±0,014	44,3±0,77	43,4±0,63
Валерий Чкалов	0,80±0,016	0,79±0,015	62,3±0,98	61,0±0,79
Гудзон	0,65±0,011	0,65±0,013	76,2±0,75	76,0±0,95
Дагестанка	0,83±0,017	0,82±0,019	36,6±0,69	36,1±0,60
Жемчужная	0,71±0,016	0,71±0,018	43,8±0,73	43,5±0,58
Крупноплодная	0,88±0,018	0,87±0,018	59,8±0,88	58,6±0,39
Лезгинка	0,90±0,018	0,88±0,015	49,4±0,66	48,8±0,42
Полянка	0,78±0,013	0,77±0,012	45,4±0,57	44,9±0,49
<i>После 12 месяцев холодильного хранения при <math>t = -22^\circ\text{C}</math></i>				
Буйнакская черная	0,72±0,013	0,72±0,017	43,3±0,69	41,9±0,72
Валерий Чкалов	0,77±0,015	0,76±0,018	60,9±0,77	59,4±0,70
Гудзон	0,62±0,016	0,61±0,013	74,5±0,84	72,3±0,96
Дагестанка	0,80±0,017	0,78±0,013	35,8±0,56	35,0±0,57
Жемчужная	0,65±0,015	0,66±0,012	42,8±0,69	41,5±0,66
Крупноплодная	0,84±0,019	0,83±0,016	58,5±0,71	56,7±0,88
Лезгинка	0,85±0,019	0,86±0,018	48,4±0,70	46,8±0,74
Полянка	0,73±0,016	0,72±0,019	44,4±0,72	43,5±0,69

Согласно Таблице 3, в плодах черешни в течение всего срока их холодного хранения при температуре  $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$  произошло стабильное снижение содержания витамина Р. По окончании 3-месячного хранения черешни ( $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), в зависимости от сорта, условий и режимов замораживания, количество витамина Р уменьшилось незначительно — на 4,0–7,1% от его содержания, определенного в замороженных плодах перед холодильным хранением. При увеличении длительности хранения в черешне усилились процессы деструкции витамина Р. Его содержание в плодах опытных образцов, предварительно замороженных погружением в ЖХ при  $t = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , через 12 месяцев холодильного хранения, снизилось на 14,1–20,2%, по сравнению с количеством, определенным в свежей черешни, а в плодах, подвергнутых замораживанию в ВС при  $t = -33\text{ }^{\circ}\text{C}$ , уменьшение массовой концентрации витамина Р составило 11,2–17,7% (Таблица 3).

Влияние длительности периода холодильного хранения (3, 9 и 12 мес.) при  $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$  на влагоудерживающую способность плодов черешни

при дефростации иллюстрируют данные Таблицы 4. С продлением периода хранения черешни наблюдалось снижение влагоудерживающей способности плодов при всех примененных технологических режимах и способах их предварительной заморозки. Минимальные потери клеточного сока в цикле «замораживание-хранение-размораживание» определены у черешни после 3 месяцев холодильного хранения: 4,2–8,4% (плоды, замороженные погружением в ЖХ) и 3,7–7,8% (плоды, замороженные россыпью в ВС).

Самая незначительная сокоотдача в течение всего периода холодильного хранения при  $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$  наблюдалась у плодов черешни, замороженных в ВС при  $t = -33\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но и замораживание погружением в ЖХ при  $t = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$ , также обеспечивало хорошую сохранность влагоудерживающей способности — 92,3 (сорт Лезгинка) — 84,9% (сорт Жемчужная). После 12 месяцев хранения потеря сока в плодах, по сравнению с их сокоотдачей сразу после замораживания, увеличилась в 2,4–2,8 раза в зависимости от сорта, условий и режимов замораживания (Таблица 4).

**Таблица 4**

Изменение в процессе холодильного хранения ( $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) влагоудерживающей способности плодов черешни, предварительно замороженных россыпью в воздушной среде (ВС) при  $t = -33\text{ }^{\circ}\text{C}$  и погружением в жидкий хладоноситель (ЖХ) при  $t = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$

**Table 4**

Changes in the Process of Refrigeration Storage ( $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) of the Moisture-Holding Capacity of Sweet Cherry Fruits, Previously Frozen in Bulk in an Air Environment (AE) at  $t = -33\text{ }^{\circ}\text{C}$  and Immersion in a Liquid Coolant (LC) at  $t = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$

Сорт черешни	Потеря сока, %		
	После 3 месяцев хранения при $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$	После 9 месяцев хранения при $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$	После 12 месяцев хранения при $t = -22\text{ }^{\circ}\text{C}$
Буйнакская черная	6,3/7,2	9,2/10,7	11,4/13,1
Валерий Чкалов	4,0/4,8	6,1/7,4	7,7/9,2
Гудзон	6,8/7,7	9,8/11,4	12,2/13,9
Дагестанка	4,5/5,4	6,7/8,2	8,4/10,0
Жемчужная	7,8/8,4	11,1/12,4	13,7/15,1
Крупноплодная	5,3/6,1	7,9/9,2	10,3/11,4
Лезгинка	3,7/4,2	5,7/6,1	7,2/7,7
Полянка	6,1/6,6	8,8/9,9	10,9/12,2

*Примечание:* \* потеря сока в процессе хранения плодами черешни, замороженными россыпью в воздушной среде (ВС) при  $t = -33\text{ }^{\circ}\text{C}$  / \*\* потеря сока в процессе хранения плодами черешни, замороженными погружением в жидкий хладоноситель (ЖХ) при  $t = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Стандартная ошибка среднего значения для показателя потери сока составила 0,035...0,085 %.

*Note:* \*juice loss during storage of sweet cherries frozen in bulk in an air environment (AE) at  $t = -33\text{ }^{\circ}\text{C}$  / \*\*juice loss during storage of sweet cherries frozen by immersion in a liquid coolant (LC) at  $t = -24\text{ }^{\circ}\text{C}$ . The standard error of the mean for juice loss was 0.035...0.085 %.

Пригодность плодов восьми исследованных сортов черешни к низкотемпературному консервированию по показателю влагоудерживающей способности оценивали с помощью обобщенной функции желательности Харрингтона, где потеря сока: до 5% — очень хорошая влагоудерживающая способность; 5,1–10% — хорошая; 10,1–20% — удовлетворительная; свыше 20% — исследуемые объекты не пригодны для замораживания (Гусейнова и др., 2021).

В разные группы, сформированные по пригодности к замораживанию, согласно шкале желательности Харрингтона, могут попасть плоды одного и того же сорта черешни, в зависимости от примененных способов и режимов замораживания, а также продолжительности периода холодильного хранения. В нашем эксперименте, например, плоды черешни сортов Буйнакская черная, Крупноплодная и Полянка после замораживания россыпью в ВС при температуре  $-33^{\circ}\text{C}$  попали в группу «очень хороших», после 3 и 9 месяцев холодильного хранения ( $t = -22^{\circ}\text{C}$ ) — в группу «хороших», а к концу 12 месяцев хранения черешня этих же сортов оказалась в числе «удовлетворительных» (потеря сока 10,3–11,4%).

Структура пектиновых веществ и их изменение в процессе замораживания влияют на состав и свойства растительных продуктов (вкус, консистенция), а также на влагоотдачу, что особенно важно при проведении дефростации (Shuhan, et al., 2024). Самые низкие потери клеточного сока, независимо от способа и режимов замораживания, определены в плодах черешни сортов Дагестанка, Валерий Чкалов и Лезгинка, содержащих достаточно большие количества пектиновых соединений — 0,86–0,97% (Таблицы 1 и 4).

Между содержанием пектиновых веществ и потерей клеточного сока в черешне, после 12 месячного срока её холодного хранения при  $t = -22^{\circ}\text{C}$ , выявлена тесная обратная корреляция. При этом коэффициенты парной корреляции между этими показателями для черешни, замороженной методом погружения в ЖХ при  $t = -24^{\circ}\text{C}$  и россыпью в ВС при  $t = -33^{\circ}\text{C}$ , составили  $r = -0,820$  и  $r = -0,770$ , соответственно.

Все исследуемые сорта черешни, по влагоудерживающей способности плодов пригодны к низко-

температурному замораживанию и холодильному хранению при температуре  $t = -22^{\circ}\text{C}$  в течение разных сроков. По уровню желательности Харрингтона они распределились, в основном, на три группы. Наиболее пригодными к замораживанию и длительному хранению до 12 месяцев оказались плоды сортов: Лезгинка, Дагестанка и Валерий Чкалов; ко второй группе отнесены плоды черешни сортов Буйнакская черная, Крупноплодная и Полянка, которые рекомендуется хранить до 9 месяцев. В третью группу вошли плоды сортов Жемчужная и Гудзон. Их можно хранить, без значительных изменений исходных свойств, до 3 месяцев.

Хотя при замораживании и длительном холодильном хранении плодов активность, содержащихся в них ферментов, резко снижается, но в процессе размораживания часть окислительно-восстановительных ферментов, не разрушенных морозом, восстанавливает свою активность (Першакова и др., 2022; Гусейнова и др. 2021). Это и вызывает изменение органолептических свойств замороженных плодов. Поэтому, применяя 5-балльную шкалу, давали дегустационную оценку плодам черешни как свежим, так и подвергнутым замораживанию и длительному холодильному хранению.

Все исследованные плоды черешни характеризовались отсутствием несвойственных сортам посторонних привкусов и запахов. К концу эксперимента самые высокие общие дегустационные оценки (4,4–4,7 балла) получили плоды сортов Дагестанка, Валерий Чкалов и Лезгинка, которые оказались лучшими как по влагоудерживающей способности, так и по степени сохранности в них пектинов и витамина Р, рекомендованные по степени устойчивости этих показателей качества для 12 месяцев холодильного хранения при  $t = -22^{\circ}\text{C}$  (Таблицы 3 и 4). По результатам дегустации черешни сортов Буйнакская черная, Полянка и Крупноплодная, замороженная погружением в ЖХ, через 12 месяцев хранения при  $t = -22^{\circ}\text{C}$  имела общие дегустационные оценки 4,2; 4,1 и 4,2 балла, а замороженная россыпью в ВС — 4,3; 4,2 и 4,3 балла, соответственно. Самые низкие общие дегустационные оценки (3,5–3,8 балла) после 12 месяцев холодильного хранения получили плоды черешни сортов Жемчужная и Гудзон.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты исследования, посвященного влиянию различных технологических режимов и методов замораживания, а также сроков холодильного хранения на физико-химические и органолептические свойства плодов черешни, подтверждаются данными из других научных работ (Simona et al., 2016; Rayman et al., 2020; Sajad et al., 2016; 2020; Гусейнова и др., 2021; Yashmita & Pradeep, 2023). Наши эксперименты показали, что лучшие показатели сохранности биохимического состава, органолептических характеристик и влагоудерживающей способности плодов черешни при дефростации достигаются при использовании шоковой заморозки в воздушной среде при температурах  $-33^{\circ}\text{C}$  и  $-35^{\circ}\text{C}$ , а также при замораживании методом погружения в жидкий хладоноситель при  $-24^{\circ}\text{C}$ . Эти данные согласуются с выводами предыдущих исследований, которые указывают на то, что быстрое замораживание способствует формированию мелкокристаллической структуры, обеспечивающей целостность клеток и тканей, что в свою очередь способствует сохранению исходных физико-химических свойств (Simona et al., 2016; Rayman et al., 2020; Vaishali et al., 2020; Matatov et al., 2020; Гусейнова и др., 2021; Колодязная и др., 2023).

Анализ также показал, что на сохранность физико-химических и органолептических характеристик черешни значительное влияние оказывают сроки хранения (3, 9 и 12 месяцев при  $-22^{\circ}\text{C}$ ). Продление сроков хранения приводило к снижению влагоудерживающей способности, уменьшению содержания пектиновых веществ и витамина Р (табл. 3). Эти изменения могут быть объяснены деструктивным действием низких температур на клеточные стенки, восстановлением активности окислительных ферментов при дефростации и потерями сока (Simona et al., 2016; Короткий & Сахабутдинова, 2019; Schudel et al., 2021; Гусейнова и др., 2021; Колодязная и др., 2023). Полученные нами результаты перекликаются с выводами исследований, посвященных пригодности различных плодовоовощных культур к низкотемпературному консервированию и разработке методов их длительного хранения (Adkison et al., 2018; Shuhan et al., 2024).

Недостаток данных в научной литературе о влиянии замораживания и хранения на содержание и структуру пектиновых веществ в плодах и ягодах делает это исследование особенно актуальным. Обнаруженное нами незначительное увеличение содержания пектиновых веществ на начальном этапе хранения (через 3 месяца при  $-22^{\circ}\text{C}$ ) может быть связано с гидролизом протопектина и переходом его в растворимую форму вследствие деструктивных изменений, вызванных замораживанием. Эти данные согласуются с работами по изучению пектиновых веществ при низкотемпературном консервировании (Кварццхелия & Родионова, 2014).

Известно, что пригодность разных сортов плодовоовощных культур к замораживанию зависит от их структурных полимеров, содержания воды, вязкости протоплазмы и прочности мембран (Adkison et al., 2018; Simona et al., 2016; Короткий & Сахабутдинова, 2019). Наше исследование, направленное на выявление сортов черешни, наиболее пригодных для шоковой заморозки и длительного хранения, имеет практическую значимость, поскольку данные о влиянии замораживания и хранения на черешню с учетом ее сортовых особенностей в литературе отсутствуют.

Через 12 месяцев хранения при  $-22^{\circ}\text{C}$  сорта Валерий Чкалов, Лезгинка и Дагестанка показали лучшие результаты по сохранности физико-химических свойств и дегустационным характеристикам (4,4–4,7 балла), что позволяет считать их наиболее пригодными для длительного хранения.

Ограничения исследования включают дефицит научных данных о влиянии различных способов замораживания и сроков хранения на черешню с учетом ее сортовых особенностей. Большинство доступных публикаций касаются других плодовоовощных культур и общих аспектов низкотемпературного консервирования (Дерябина & Колодязная, 2003; Adkison et al., 2018; Гусейнова и др., 2021). Эти ограничения могут повлиять на объем и глубину выводов, сделанных в данном исследовании.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенного исследования установлено, что на стабильность физико-химических и органолептических показателей качества плодов черешни в процессе низкотемпературного консервирования оказывают значительное влияние не только режимы и методы замораживания (в частности, замораживание россыпью в воздушной среде при температуре  $-30$ ;  $-33$  и  $-35$  °C и замораживание погружением в жидкие хладагенты при температуре  $-24$  °C), но также сортовые особенности и сроки хранения в условиях холодильной камеры (3, 9 и 12 месяцев при температуре  $-22$  °C).

В ходе исследования выяснилось, что наилучшими способами замораживания с точки зрения минимизации потерь сока и сохранения нутриентного состава плодов для всех изученных сортов черешни являются замораживание россыпью в воздушной среде при температуре  $-33$  °C и замораживание погружением в жидкие хладагенты при температуре  $-24$  °C. Увеличение продолжительности хранения привело к снижению влагоудерживающей способности плодов, а также к необратимому уменьшению содержания пектиновых веществ и витамина Р. Среди исследованных сортов наиболее устойчи-

выми к замораживанию и длительному хранению (до 12 месяцев) без существенных изменений исходных характеристик оказались сорта Дагестанка, Валерий Чкалов и Лезгинка.

Полученные результаты способствуют углублению знаний об изменении физико-химических и органолептических показателей замороженных плодов черешни в зависимости от сортовых характеристик, сроков хранения и методов замораживания, что имеет важное значение для разработки технологий сортового низкотемпературного консервирования черешни, обеспечивающих высокую степень сохранности исходных качеств плодов. Эти технологии могут быть использованы для создания системы круглогодичного хранения черешни.

Перспективные направления дальнейших исследований включают изучение влияния сортовых особенностей, агротехнических и экологических факторов зоны выращивания, сроков созревания и времени сбора плодов на товарно-технологические показатели качества черешни в процессе замораживания и длительного холодильного хранения, что необходимо для оптимизации параметров технологии низкотемпературного консервирования черешни.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Акимов, М. Ю. (2020). Новые селекционно-технологические критерии оценки плодовой и ягодной продукции для индустрии здорового и диетического питания. *Вопросы питания*, 89(4), 244–254. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10057>
- Akimov, M.Yu. (2020). New breeding and technological evaluation criteria for fruit and berry products for the healthy and dietary food industry. *Problems of Nutrition*, 89(4), 244–254. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10057>
- Быкова, Т. О., Алексашина, С. А., Демидова, А. В., Макарова, Н. В., & Деменина, Л. Г. (2017). Сравнительный анализ химического состава плодов вишни и черешни различных сортов, выращенных в Самарской области. *Известия вузов. Пищевая технология*, (1), 32–35.
- Vukova, T. O., Aleksashina, S. A., Demidova, A. V., Makarova, N. V., & Demenina, L. G. (2017). Comparative analysis of the chemical composition of cherry and sweet cherry fruits of various varieties grown in the Samara region. *Izvestiya vuzov. Food technology*, (1), 32–35. (In Russ.)
- Гусейнова, Б. М., Асабутаев, И. Х., & Даудова, Т. И. (2022). Быстрозамороженные фруктово-ягодные десерты: разработка и оценка качества. *Техника и технология пищевых производств*, 52(2), 271–281. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2362>
- Guseinova, B.M., Asabutaev, I.H., & Daudova, T.I. (2022). Development and Quality Evaluation of Quick-Frozen Fruit-and-Berry Desserts. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(2), 271–281. (In Russ.) <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2362>
- 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., Asabutaev, I.H., & 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>
- Гусейнова, Б.М., & Мусаева, Р.Т. (2023). Нутриентный профиль местных селекционных и интродуцированных сортов черешни, культивируемых в условиях Дагестана. *Известия вузов. Пищевая технология*, (392), 10–17. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.2-3.2>

- Guseynova, B.M., & Musaeva, R.T. (2023). Nutrient profile of local breeding and introduced cherry varieties cultivated under Dagestan conditions. *Izvestiya vuzov. Food technology*, (392), 10–17. (In Russ.) <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.2-3.2>.
- Гусейнова, Б.М., Асабутаев, И.Х., & Даудова, Т.И. (2021). Влияние низкотемпературных режимов консервирования на сохранность товарных качеств и нутриентного состава абрикосов с учетом сортовых особенностей и сроков хранения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 15–29. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.185>
- Guseynova, B.M., Asabutaev, I.H., & Daudova, T.I. (2021). Effect of low-temperature preservation regimes on preservation of commercial qualities and nutrient composition of apricots taking into account varietal features and shelf life. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 15–29. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.185>
- Дерябина, С.С., & Колодязная, В. С. (2003). Качество плодов абрикосов при замораживании в жидких некипящих хладоносителях. *Производство и реализация мороженого и быстрозамороженных продуктов*, (2), 34–37. (In Russ.)
- Deryabina, S.S., & Kolodyaznaya, V.C. (2003). Quality of apricots frozen in liquid non-boiling coolants. *Production and Sale of Ice-Cream and Frozen Foods*, (2), 34–37. (In Russ.)
- Заремук, Р.Ш., & Доля, Ю.А. (2021). Конкурентоспособные сорта черешни для садоводства Краснодарского края. *Садоводство и виноградарство*, 3, 29–35. <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-3-29-35>
- Zaremuk, R.Sh., & Dolya, Yu.A. (2021). Sweet cherry competitive varieties for the horticulture of the Krasnodar Territory. *Horticulture and Viticulture*, 3, 29–35. (In Russ.) <https://doi.org/10.31676/0235-2591-2021-3-29-35>
- Кварцхелия, В. Н., & Родионова, Л. Я. (2014). Изменение аналитических характеристик пектиновых веществ яблок позднего срока созревания при длительном влиянии низких температур. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ)*, 100(6), 1193–1203.
- Kvartskheliya, V. N., & Rodionova, L. Ya. (2014). Changing the analytical characteristics of pectin substances apples winter ripening under long influence of low temperatures. *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*, 100(6), 1193–1203. (In Russ.)
- Киселева, Т. Л., Карпеев, А. А., Смирнова, Ю. А., Амалицкий, В. В., Сафонов, В. П., Цветаева, Е. В., Блинков, И. Л., Коган, Л. И., Чепков, В. Н., & Дронова, М. А. (2007). *Лечебные свойства пищевых растений*. М: Издательство ФНКЭЦ ТМДЛ Росздрава.
- Kiseleva, T. L., Karpeev, A. A., Smirnova, Yu. A., Amalickij, V. V., Safonov, V. P., Cvetaeva, E. V., Blinkov, I. L., Kogan, L. I., Chepkov, V. N., & Dronova, M. A. (2007). *Medicinal properties of food plants*. Moscow: Publishing house FNKETS TMDL Roszdrava. (In Russ.)
- Коденцова, В.М., Жилинская, Н.В., & Шпигель, Б.И. (2020). Витаминология: от молекулярных аспектов к технологиям витаминизации детского и взрослого населения. *Вопросы питания*, 89(4), 89–99. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10045>
- Kodentsova, V.M., Zhilinskaya, N.V., & Shpigel, B.I. (2020). Vitaminology: from molecular aspects to improving technology of vitamin status children and adults. *Problems of Nutrition*, 89(4), 89–99. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10045>
- Колодязная, В.С., Румянцева, О. Н., & Кипрушкина, Е.И. (2023). История и перспективы развития холодильной технологии пищевых продуктов. *Вестник Международной академии холода*, (1), 47–54. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2023-22-1-47-54>
- Kolodyazhnaya, V. S., Rumyantseva, O. N., & Kiprushkina E. I. (2023). The history and the prospects of food refrigeration. *Journal of International Academy of Refrigeration*, (1), 47–54. (In Russ.) <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2023-22-1-47-54>
- Короткий, И.А., & Сахабутдинова, Г.Ф. (2019). Совершенствование и анализ процессов низкотемпературной обработки овощных смесей. *Холодильная техника*, 108(9), 51–55. <https://doi.org/10.17816/RF104170>
- Korotkiy, I.A., & Sakhabutdinova, G.F. (2019). Improvement and analysis of processes of low-temperature processing of vegetable mixtures. *Refrigeration Technology*, 108(9), 51–55. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/RF104170>
- Мегердичев, Е.Я. (2003). *Технологические требования к сортам овощных и плодовых культур, предназначенным для различных видов консервирования*. М.: Россельхозакадемия.
- Megerdichev, E.Ya. (2003). *Technological requirements for varieties of vegetable and fruit crops intended for various types of preservation*. Moscow: Russian Agricultural Academy. (In Russ.)
- Першакова, Т.В., Купин, Г.А., Яковлева, Т.В., Горлов, С.М., Алёшин, В.Н., & Бабакина, М.В. (2022). Разработка сводной матрицы биологизации процессов формирования качества и предотвращения потерь овощей и фруктов в системе «производство — транспортирование — хранение — реализация»: обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 52–64. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.299>
- Pershakova, T.V., Kupin, G.A., Yakovleva, T.V., Gorlov, S.M., Aleshin, V.N., & Babakina M.V. (2022). Development of a Summary Matrix of Biologization of the Processes of Quality Formation and Prevention of Losses of Vegetables and Fruits in the System «Production — Transportation — Storage — Sale»: Scoping Review. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 52–64. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.299>
- Праскова, Ю. А., Киселева, Т. Ф., Резниченко, И. Ю. и др. (2021). Биологически активные вещества *Vitisamurensis Rupr.* для профилактики преждевременного старения. *Техника и технология пищевых производств*, 51(1), 159–169. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-159-169>

- Praskova, Ju.A., Kiseleva, T.F., Reznichenko, I.Yu., Frolova, N.A., Shkrabtak N.V., & Lawrence, Yu. (2021). Biologically Active Substances of *Vitis amurensis* Rupr.: Preventing Premature Aging. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(1), 159–169. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-1-159-169>.
- Причко, Т.Г., & Алехина, Е.М. (2018). Показатели качества плодов новых сортов черешни. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*, (6), 45–48. <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/45-48>
- Prichko, T. G., & Alekhina, E. M. (2018). Quality parameters of the fruits of new cherries varieties. *Vestnik of The Russian Agricultural Science*, (6), 45–48. (In Russ.). <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/45-48>
- Сметнева, Н.С., Погожева, А.В., Васильев, Ю.Л., Дыдыкин, С.С., Дыдыкина, И.С., & Коваленко, А.А. (2020). Роль оптимального питания в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний. *Вопросы питания*, 89(3), 114–124. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10035>
- Smetneva, N.S., Pogozheva, A.V., Vasil'ev, Yu. L., Dydykin, S.S., Dydykina, I.S., & Kovalenko, A.A. (2020). The role of optimal nutrition in the prevention of cardiovascular diseases. *Problems of Nutrition*, 89(3), 114–124. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10035>
- Тутельян, В.А., Никитюк, Д.Б., Батулин, А.К. и др. (2020). Нутриом как направление «главного удара»: определение физиологических потребностей в макро- и микронутриентах, минорных биологически активных веществах пищи. *Вопросы питания*, 89(4), 24–34. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039>
- Tutelyan, V.A., Nikityuk, D.B., Baturin, A.K. et al. (2020). Nutriome as the direction of the “main blow”: determination of physiological needs in macro- and micronutrients, minor biologically active substances. *Problems of Nutrition*, 89(4), 24–34. (In Russ.). <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10039>
- Adkison, E.C., Biasi, W.B., Bikoba, V., Holstege, D.M., & Mitcham, E.J. (2018). Effect of canning and freezing on the nutritional content of apricots. *Journal of Food Science*, 83(6), 1757–1761. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14157>
- Arevström, L., Bergh, C., Landberg, R., H., Wu, H., Rodriguez-Mateos, A., Waldenborg, M., Magnuson, A., Blanc, S., & Frobert, O. (2019). Freeze-dried bilberry (*Vaccinium myrtillus*) dietary supplement improves walking distance and lipids after myocardial infarction: An open label randomized clinical trial. *Nutrition Research*, 62, 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2018.11.008>
- Aune, D., Giovannucci, E., Boffetta, P., Fadnes, L. T., Keum, N., Norat, T., Greenwood, D. C., Riboli, E., Vatten, L. J., & Tonstad, S. (2017). Fruit and vegetable intake and the risk of cardiovascular disease, total cancer and all-cause mortality—a systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *International Journal of Epidemiology*, 46(3), 1029–1056. <https://doi.org/10.1093/ije/dyw319>
- Bacchetti, T., Turco, I., Urbano, A., Morresi, C., & Ferretti, G. (2019). Relationship of fruit and vegetable intake to dietary antioxidant capacity and markers of oxidative stress: A sex-related study. *Nutrition*, 61, 164–165. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2018.10.034>
- Ballistreri, G., Continella, A., Gentile, A., Amenta, M., Fabroni, S., & Rapisarda, P. (2013). Fruit quality and bioactive compounds relevant to human health of sweet cherry (*Prunus avium L.*) cultivars grown in Italy. *Journal Food Chemistry*, 140(4), 630–638. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.11.024>
- Bilbao-Sainz, C., Thai, S., Sinrod, A. J. G., Chiou, B. S., & McHugh, T. (2019). Functionality of freeze-dried berry powder on frozen dairy desserts. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(9), Article e14076. <https://dx.doi.org/10.1111/jfpp.14076>
- Celli, G. B., Ghanem, A., & Su-Ling Brooks, M. (2016). Influence of freezing process and frozen storage on the quality of fruits and fruit products. *Food Reviews International*, 32(3), 280–304. <https://doi.org/10.1080/87559129.2015.1075212>
- Chareonrungrueangchai, K., Wongkawinwoot, K., Anothaisintawee, T., & Reutrakul, S. (2020). Dietary factors and risks of cardiovascular diseases: An umbrella review. *Nutrients*, 12(4), Article ID 1088. <https://doi.org/10.3390/nu12041088>
- Feng, S., Bi, J., Laaksonen, T., Laurén, P., & Yi, J. (2024). Texture of freeze-dried intact and restructured fruits: Formation mechanisms and control technologies. *Trends in Food Science & Technology*, 143, 104267. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104267>
- Gubanenko, G. A., Pushkareva, E. A., Rechkina, E. A., Balyabina, T. A., Korbmakher, T. V., & Strupan E. A. (2021). The study of indicators on quality of pectins from secondary plant raw materials of Krasnoyarsk region, *IOP Conference Series: Earth And Environmental Science*, 640, 062021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/6/062021>
- Johnson-Down, L., Willows, N., Kenny, T., Ing, A., Fediuk, K., Sadik, T., Man Chan Hing, & Batal, M. (2019). Optimization modelling to improve the diets of first nations individuals. *Journal of Nutritional Science*, (8), 1–18. <https://doi.org/10.1017/jns.2019.30>
- Mamatov, Sh., Aripov, M., Meliboyev, M., & Shamsutdinov, B. (2020). Advantages of quick-freezing technology of cherry. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(3), 3254–3256. <https://doi.org/10.35940/ijitee.C8917.019320>
- Rayman Ergün, A., Gürlek, N., & Baysal, T. (2020). Effects of Freezing Rate on The Quality of Cherry Tomatoes. *Yuzuncu Yil University Journal of Agricultural Sciences*, 30(2), 317–327. <https://doi.org/10.29133/yyutbd.670610>
- Sajad, M. W., Masoodi, F. A., Ehtishamul, H., Mukhtar, A., & Ganai, S. A. (2020). Influence of processing methods and storage on phenolic compounds and carotenoids of apricots. *LWT-Food Science and Technology*, 132, 109846. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109846>
- Schudel, S., Prawiranto, K., & Defraeye T. (2021). Comparison of freezing and convective dehydrofreezing of vegetables for reducing cell damage. *Journal of Food Engineering*, 293. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110376>

- Oancea, S., Draghici, O., & Ketney, O. (2016). Changes in total anthocyanin content and antioxidant activity in sweet cherries during frozen storage, and air-oven and infrared drying. *Fruits*, 71, 281–288. <https://doi.org/10.1051/fruits/2016025>
- Tam, E., Keats, E. C., Rind, F., Das, J. K., & Bhutta, Z. A. (2020). Micronutrient supplementation and fortification interventions on health and development outcomes among children under-five in low-and middleincome countries: A systematic review and meta-analysis. *Nutrients*, 12(2), 289. <https://doi.org/10.3390/nu12020289>
- Usenik, V., Fabčić, J., & Stampar, F. (2008). Sugars, organic acids, phenolic composition and antioxidant activity of sweet cherry (*Prunus avium* L.). *Food Chemistry*, 107, 185–192. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.08.004>
- Vaishali, Sharma, H.P., Dholu, U., Sharma, S., & Patel, A. (2020). Effect of freezing systems and storage temperatures on overall quality of perishable food commodities. *The Pharma Innovation Journal*, 9(9), 114–122.
- Xiang, Li, Weidong, Wu, Kun, Li, Xueming Ren, & Zian Wang. (2022). Experimental study on a wet pre-cooling system for fruit and vegetables with ice slurry. *International Journal of Refrigeration*, 133, 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.10.001>
- Yashmita, G., & Pradeep, S. N. (2023). Recent developments in freezing of fruits and vegetables: Striving for controlled ice nucleation and crystallization with enhanced freezing rates. *Journal Food Science*, 88, 4799–4826. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16810>
- Yeung, A. W. K., Tzvetkov, N. T., Zengin, G., Wang, D., Xu, S., Mitrović, G., Brnčić, M., Dall'Acqua, S., Pirgozliev, V., Kijjoo, A., Georgiev, M. I., & Atanasov, A. G. (2019). The berries on the top. *Journal of Berry Research*, 9(1), 125–139. <https://doi.org/10.3233/jbr-180357>
- Zhang, W., Jiang, H., Cao, J., & Jiang, W. (2021). Advances in biochemical mechanisms and control technologies to treat chilling injury in postharvest fruits and vegetables. *Trends in Food Science & Technology*, 113, 355–365. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.009>
- Zurbau, A., Au-Yeung, F., Mejia, S.B., Khan, T.A., Vuksan, V., Jovanovski, E., Leiter, L.A., Kendall, C.WC., Jenkins, D. JA., & Sievenpiper, J. L. (2020). Relation of different fruit and vegetable sources with incident cardiovascular outcomes: A systematic review and meta-analysis of prospective cohort studies. *Journal of the American Heart Association*, 9(19), e017728. <https://doi:10.1161/JAHA.120.017728>

# Волновые и полевые воздействия в пищевых технологиях: обзор предметного поля

Российский биотехнологический университет, г. Москва, Российская Федерация

Д. В. Карпенко, А. Г. Гришин, А. Д. Заграничная, М. Г. Гордюшин, Е. М. Смирнова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Дмитрий Валерьевич Карпенко**  
E-mail: karpenkodv@mgupp.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Карпенко, Д. В., Гришин, А. Г., Заграничная, А. Д., Гордюшин, М. Г., & Смирнова, Е. М. (2024). Волновые и полевые воздействия в пищевых технологиях: обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 58-81. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.3.566>

**ПОСТУПИЛА:** 13.04.2024

**ДОРАБОТАНА:** 10.09.2024

**ПРИНЯТА:** 15.09.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.09.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Высокая конкуренция в пищевой промышленности требует интенсификации технологических процессов, улучшения качества и безопасности продукции, расширения ассортимента и снижения себестоимости. Одним из перспективных решений является применение волновых и полевых воздействий на разных этапах производства. За последние годы интерес к этим методам значительно вырос благодаря доступности необходимого оборудования.

**Цель:** Систематизация данных о применении волновых и полевых воздействий для интенсификации технологических процессов и повышения качества продукции, сравнение их эффективности, выявление преимуществ и недостатков по сравнению с традиционными методами переработки.

**Материалы и методы:** В обзор включены публикации на русском и английском языках, индексируемые в Scopus, Web of Science, eLibrary (РИНЦ) и других базах данных. Период охвата – с 1963 по 2024 годы. Методология обзора основывалась на протоколе PRISMA. Исключены данные по применению воздействий для активации дрожжевых популяций, опубликованные ранее.

**Результаты:** Проанализированы волновые и полевые воздействия, включая обработку звуком различных частот, электромагнитными излучениями и комбинированные методы. Описаны цели обработки в различных пищевых отраслях и режимы проведения (длительность, температура, интенсивность). Показаны преимущества таких обработок: сокращение времени и затрат на стадии процессов, снижение энергопотребления, уменьшение отходов, снижение термического воздействия, повышение проницаемости мембран, эффективность экстракции, улучшение сушки, консервирования и пастеризации. Отмечены улучшения в органолептике, стойкости к окислению и подавлению нежелательных процессов. Однако выявлены недостатки: потеря биологически активных веществ, ухудшение вкусовых характеристик, неравномерность обработки и необходимость специализированного оборудования.

**Выводы:** Универсальный метод обработки, подходящий для всех стадий и масштабов производства, отсутствует. Рациональный выбор обработки должен учитывать как положительные, так и отрицательные эффекты, влияние на состав продукции и экономическую целесообразность применения.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

интенсификация технологических процессов пищевых производств; повышение качества и безопасности продукции; волновые и полевые воздействия; акустическая обработка; воздействие электромагнитными излучениями; комбинированные методы обработки

# Wave and Field Influences in Food Technologies: A Scoping Review

Russian Biotechnological University,  
Russian Federation

Dmitry V. Karpenko, Artem G. Grishin, Anna D. Zagranichnaya,  
Maksim G. Gordjushin, Elizaveta M. Smirnova

## CORRESPONDENCE:

**Dmitry V. Karpenko**

E-mail: karpenkovd@mgupp.ru

## FOR CITATIONS:

Karpenko, D. V., Grishin, A. G.,  
Zagranichnaya, A. D., Gordjushin, M. G.,  
& Smirnova, E.M. (2024). Wave and field  
impacts in food technologies: A scoping  
review. *Storage and Processing of Farm  
Products*, 32(3), 58-81.  
[https://doi.org/10.36107/  
spfp.2024.3.566](https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.566)

**RECEIVED:** 13.04.2024

**REVISED:** 10.09.2024

**ACCEPTED:** 15.09.2024

**PUBLISHED:** 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** High competition in the food industry requires the intensification of technological processes, improvement of product quality and safety, expansion of the product range, and cost reduction. The application of wave and field influences at various stages of production is one of the promising solutions. In recent years, interest in these methods has significantly increased due to the availability of the necessary equipment.

**Purpose:** To systematize data on the use of wave and field influences for the intensification of technological processes and the improvement of product quality, to compare their effectiveness, and to identify advantages and disadvantages in comparison with traditional processing methods.

**Materials and Methods:** This scoping review includes publications in Russian and English indexed in Scopus, Web of Science, eLibrary (RSCI), and other databases. The period covered was from 1963 to 2024. The methodology of the review was based on the PRISMA protocol. Data on the use of influences for the activation of yeast populations, published previously, were excluded.

**Results:** Wave and field influences, including acoustic treatment of various frequencies, electromagnetic radiation, and combined methods, were analyzed. The goals of these treatments in different food sectors and their operating modes (duration, temperature, intensity) were described. The benefits of such treatments were highlighted, among them being the reduction of time and costs at the process stage, lower energy consumption, decreased waste, reduced thermal impact, increased membrane permeability, extraction efficiency, better drying, preservation, and pasteurization. Improvements in organoleptic properties, oxidative stability, and the suppression of undesirable processes were noted. However, drawbacks such as the loss of bioactive substances, deterioration in taste characteristics, uneven treatment, and the need for specialized equipment were also identified.

**Conclusion:** A universal treatment method suitable for all stages and scales of production does not currently exist. The rational choice of treatment should consider both positive and negative effects, the impact on product composition, and the economic feasibility of application.

## KEYWORDS

intensification of technological processes in food production; improvement of product quality and safety; wave and field influences; acoustic treatment; electromagnetic radiation exposure; combined treatment methods

## ВВЕДЕНИЕ

Пищевые производства являются одними из наиболее бурно развивающихся и модифицирующихся отраслей промышленности. Нововведения сводятся к разработкам и совершенствованию различных типов оборудования, введению в переработку новых типов сырья и вспомогательных материалов, а также к изменению параметров и режимов проведения технологических стадий и процессов (Chemat et al., 2017). Эти новации нацелены на решение широкого круга задач: повышение качества, конкурентоспособности и безопасности готовой продукции, снижение производственных затрат, обеспечение экологичности производства. Переход на новые типы/конструкции производственного оборудования требует значительных капитальных затрат и нарушения ритмичности производственного цикла; внедрение альтернативного сырья сдерживается необходимостью сохранения привычных потребительско-органолептических характеристик пищевого продукта, а в некоторых случаях — и требованиями контролирующих органов к ее безопасности. В силу этого одним из наиболее перспективных подходов представляется разработка альтернативных традиционным способов ведения технологических процессов, предполагающая применение воздействий на сырье и полупродукты, не требующих увеличения расходов финансовых и энергетических ресурсов, но обеспечивающих повышения качества и безопасности готовой продукции. Одним из них может быть использование волновых и полевых воздействий.

Литературные источники содержат значительный объем информации о каждом из трех направлений инноваций, реализуемых в пищевых технологиях за счет применения волновых и полевых воздействий. Интерес к ним возник достаточно давно (Gordon, 1963), сохраняется в течение последних 60 лет, а в последние годы лавинообразно возрастает (Егорова et al., 2023; Urugo et al., 2023). Вероятно, это связано с развитием, прежде всего, приборостроения, дающим возможность применения сравнительно недорогих устройств в дополнение к уже установленному на предприятии оборудованию. По нашему мнению, подтвержденному рядом источников, волновые/полевые воздействия обладают рядом преимуществ: не требуют введения дополнительных компонентов в состав

технологических сред в отличие от химических способов; минимизируют изменения состава и потребительских свойств готовой продукции (Посокина & Захарова, 2023); повышают степень извлечения из сырья целевых компонентов (Mannozi et al., 2023); не приводят, как правило, к заметному повышению температуры обрабатываемых объектов в отличие от термических способов (Barba et al., 2017); обеспечивают в ряде случаев увеличение срока годности пищевых продуктов (Sulaimana et al., 2021); во многих случаях продолжительность обработки и затраты энергии существенно меньше, чем при использовании других методов интенсификации производственных процессов. Однако их применение в промышленном масштабе имеет и свои ограничения (Посокина & Захарова, 2023), учет причин которых обуславливает целесообразность и возможность применения исследуемых в обзоре методов для решения конкретной технологической задачи.

Целью данного обзора предметного поля являлась систематизация данных об интенсификации технологических процессов и повышении качества и безопасности продукции пищевых производств, базирующихся на применении волновых и полевых воздействий. Исследовательский вопрос: какими эффективными методами, альтернативными применяемым в промышленном масштабе, возможна интенсификация технологических процессов, повышение качества и безопасности продукции пищевых производств; предмет исследования — волновые и полевые воздействия; задачи исследования — сравнение эффективности изучаемых способа обработки в решении указанных задач, выявлении преимуществ и недостатков, в том числе, по сравнению с традиционными способами переработки сырья.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Базы данных и хронотоп

Анализировались научные публикации за период с 1963 по 2024 гг. на русском и английском языках в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, РИНЦ. Данный хронотоп был выбран для прослеживания развития и совершенствования изучаемых подходов к решению технологических задач.

В источниках, отобранных для обзора, были проанализированы пристатейные списки литературы, что позволило выявить дополнительные публикации, соответствующие тематике исследования, но не обнаруженные в базах данных. Кроме того, были использованы архивы журналов *Innovative Food Science & Emerging Technologies* (2020–2024 гг.), *Journal of the Institute of Brewing* (1970–2022 гг.), *Applied Biochemistry and Microbiology* (2020–2022 гг.), *Kvasny prumysl* (1970–2019 гг.), *Хранение и переработка сельхозсырья* (2012–2024 гг.), *Пиво и напитки* (2012–2023 гг.), *Вестник ВГУИТ* (2012–2023 гг.), *Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю. А. Овчинникова* (2005–2024 гг.). Эти журналы фокусируются на инновационных способах интенсификации технологических процессов различных отраслей пищевых производств и обеспечения качества и безопасности готовой продукции. Статьи из них отбирали по критериям включения/исключения для данного обзора, информацию категоризировали по видам воздействий и решаемым с их помощью задачам.

## Отбор источников

### Критерии включения

- (1) Публикация издана в период с 1963 по 2024 год;
- (2) Публикация релевантна тематике обзора — влиянию волновых и полевых воздействий на технологические процессы, качество и безопасность продукции пищевых производств;
- (3) Тип публикации — оригинальное исследование, монография, диссертация, статья из сборника трудов конференции.
- (4) Источник представлен в открытом доступе.

### Критерии исключения

- (1) Публикация не соответствует теме исследования;
- (2) Публикация на ином языке, кроме русского и английского;
- (3) Содержание публикации дублируется в другом источнике.
- (4) Отсутствует доступ к полному тексту статьи.

## Отбор источников

### Поисковый запрос

Для поисковых запросов в РИНЦ были использованы следующие ключевые слова и словосочетания: активация технологических процессов, волновые и полевые воздействия, акустические воздействия, ультразвук, термозвуковая обработка, воздействие электромагнитных излучений, воздействие электрических полей, воздействие электрического тока, обработка радиоволнами, обработка микроволновыми излучениями, обработка светом, обработка ионизирующими излучениями.

Для поиска в базах данных Scopus, Web of Science использовались термины: *activation of technological processes, wave and field influences, acoustic treatment, ultrasound, thermosonic treatment, exposure to electromagnetic radiation, exposure to electric fields, exposure to electric current, radio wave treatment, microwave radiation treatment, light treatment, ionizing radiation treatment.*

## Процесс отбора источников

### Процедура исследования и анализ данных

На первом этапе исследований был осуществлен поиск информации по ключевым словам и названиям публикаций в наукометрических базах данных и архивах специализированных журналов. На втором этапе реализовывалось сканирование аннотаций. Затем проводили полнотекстовое сканирование источников, которые не были исключены из рассмотрения по критериям несоответствия.

Затем литературные данные были структурированы. Ввиду множества потенциальных или практических областей применения волновых и полевых воздействий и значительного количества публикаций по данной проблематике решено было структурировать информацию источников по типам обработки, приводя в каждом из разделов наиболее часто решаемые технологические задачи, примеры методов обработки конкретного типа, режимы ее проведения, преимущества и недостатки рассматриваемого способа.

Результаты воздействий, основанных на применении электромагнитных излучений, рассмотрены в порядке возрастания энергии и частоты излу-

чения (уменьшения длины его волны). Несмотря на то, что электрический ток сам по себе не является электромагнитным излучением, явления электромагнетизма тесно связаны друг с другом, поэтому решено было привести информацию о близких по природе способах воздействия в рамках одного раздела обзора.

Информация многочисленных источников, сфокусированных на активации дрожжей волновыми и полевыми воздействиями, в данном обзоре не приведена, так как была проанализирована и представлена в более раннем исследовании Karpenko & Grishin (2024). Кроме того, из рассмотрения исключалась информация о методах обработки, базирующихся на использовании низкотемпературной (атмосферной) плазмы, которая, хотя и взаимодействует с внешними электромагнитными полями и обладает высокой электропроводностью, является ионизированным газом, а не полем/

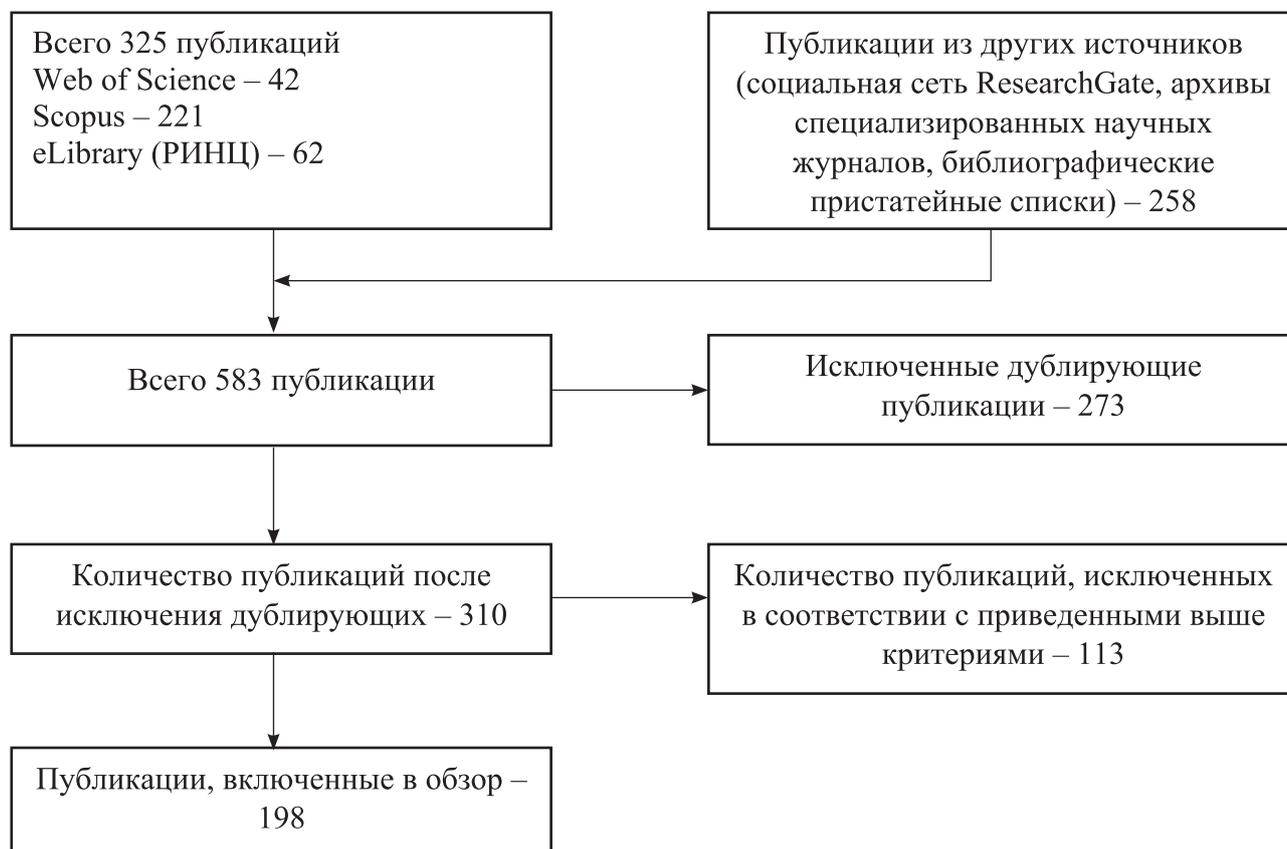
волной; данную информацию предполагается опубликовать позднее.

Отбор источников реализовывался с опорой на протокол PRISMA-ScR (Рисунок 1).

### Табуляция и извлечение данных

Данные были извлечены двумя авторами независимо друг от друга (Гордюшиным М.Г. и Смирновой Е.М.). Каждый автор отвечал за половину выбранных документов, а полное извлечение было проверено третьим (Заграничной А.Д.). Разногласия между авторами были разрешены путем консенсусных собраний всего авторского коллектива. Была сформирована таблица Excel, включающая следующие данные: год публикации, цели и описание публикации, тип волнового или полевого воздействия, отрасль пищевой промышленности, тех-

**Рисунок 1**  
Диаграмма PRISMA-ScR  
**Figure 1**  
PRISMA-ScR Diagram



**Таблица 1**

Таблица для извлечения данных из публикаций, включенных в обзор

**Table 1**

Data Extraction Table from Publications Included in the Review

Заглавие	Автор и год	Применение акустических воздействий	Воздействие электромагнитных, магнитных, электрических полей, электрического тока	Обработка радиоволнами	Микроволновое излучение	Обработка светом с волнами различной длины	Воздействие ионизирующих излучений	Преимущества рассматриваемого типа обработки	Негативные результаты рассматриваемого типа обработки
----------	-------------	-------------------------------------	---	------------------------	-------------------------	--	------------------------------------	--	---

нологическая задача, решаемая за счет проведения обработки того или иного типа, ее эффективность, преимущества и недостатки. Примеры извлечения данных из статей, включенных в обзор, приведены в Таблице 1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Для сопоставления целесообразности и эффективности применения различных видов волновых и полевых воздействий информация в соответствии с направлениями, выявленными при анализе отобранных для обзора источников, была сгруппирована в разделах, посвященных определенному типу обработки: акустическая, электромагнитными, магнитными, электрическими полями, электрическим током, радиоволнами, микроволновым излучением, светом с различными длинами волн, ионизирующими излучениями, комбинированные методы.

### Применение акустических воздействий

Применение акустических воздействий, включая ультразвук, в пищевых технологиях демонстрирует значительные преимущества для повышения эффективности различных процессов. Ультразвуковая обработка способствует интенсификации таких стадий, как консервирование и экстракция, сокращение продолжительности сушки и интенсификация процессов брожения, обеспечивая высокую производительность и экологичность процессов (Ferreira et al., 2022; Sharma & Dash, 2022; Xue et al., 2024; Chemat et al., 2017; Yin et al., 2019). Основные

разновидности ультразвуковой обработки включают мощный ультразвук (20–100 кГц), высокочастотный ультразвук (от 20 кГц до 1 МГц) и ультразвуковую диагностику (>1 МГц), причем наиболее распространенным является применение мощного ультразвука для обработки жидких сред, что приводит к кавитации и разрушению клеток (Chemat et al., 2011; Knorr et al., 2004).

Ультразвуковая обработка при комнатной температуре и низких плотностях энергии имеет ограниченную эффективность для инактивации микроорганизмов и ферментов. Комбинация ультразвука с мягкой термообработкой (термозвуковая обработка) повышает антимикробную активность и снижает термическое воздействие, что делает данный метод перспективным для применения в пастеризации и других технологических процессах (Sulaiman et al., 2015; Milani et al., 2016). Например, при температуре 50°C и времени обработки 1,9 минут или при 55°C и 26 секундах достигается эффект, эквивалентный традиционной пастеризации, что подтверждает преимущества использования термозвуковой обработки для обеспечения безопасности пищевых продуктов (Milani & Silva, 2017).

Использование ультразвука при пастеризации сока показало, что термозвуковая обработка при 60°C/5 мин и 55°C/15 мин позволяет сохранить биоактивные компоненты и улучшить цветность по сравнению с традиционными методами при 90°C (Xu et al., 2023). Преимущество ультразвука подтверждается также сохранением ароматических характеристик продукта, что свидетельствует о меньшем воздействии на органолептические свойства. Комбинированные методы

с добавлением антиоксидантов, таких как пропилгаллат (ПГ), демонстрируют синергетический эффект, способствуя инактивации патогенов, усилению окислительного стресса и разрушению клеточных мембран (Nguyen et al., 2022). Добавление органических кислот, таких как фумаровая, также усиливает антимикробную активность ультразвука, что подтверждено при обработке яблочного сока (Park & Ha, 2019).

Влияние термозвуковой обработки на апельсиновый сок показало, что при температуре 70–80°C достигается снижение микробного титра и сохраняются антиоксидантные свойства, что делает метод эффективным для улучшения стойкости напитков (Oliveira et al., 2022). Экстракция биоактивных веществ с применением ультразвука продемонстрировала эффективность для различных субстратов, включая черничный жом и кожуру лимонов, увеличивая выход и качество экстрактов по содержанию антиоксидантов (Алексеевко и соавт., 2023; Quiroz-Reyes & Aguilar-Méndez, 2022). Применение ультразвука в экстракции масла из семян яблок улучшает антиоксидантный профиль продукта (Gasparini et al., 2023).

Комбинация ультразвука с другими методами, такими как омический нагрев, обеспечивает дезинтеграцию клеточных структур и увеличивает выход биологически активных соединений, что подтверждено для пюре из яблок и моркови (Mannozi et al., 2018). Использование ультразвука для модификации компонентов, включая глютен и крахмал, повышает выход и чистоту целевых веществ, сохраняя их структуру (Lan et al., 2023; Rahman et al., 2022). Применение ультразвука при ультрафильтрации спироулины усиливает выход белков и полифенолов, что делает метод востребованным для биотехнологических процессов (Zhou et al., 2023).

Для минимизации потерь биологически активных веществ, таких как фенолы, при обработке термолabileльных компонентов, применение низких температур и плотности энергии остается важным аспектом разработки технологий (Agsam, 2022). Применение слышимого звука рассматривается как метод с меньшим воздействием на структуру продукта при сохранении его качественных характеристик (Карпенко и соавт., 2017).

## Воздействие электромагнитными излучениями

### *Воздействие электромагнитных, магнитных, электрических полей, электрического тока*

Применение переменных магнитных полей (ПМП), включая импульсные и осциллирующие, зарекомендовало себя как эффективный нетермический метод обработки в пищевой промышленности, позволяющий сохранить качество продукции, включая внешний вид, вкус и питательные свойства (El-Khatib et al., 2019; Piyadasa et al., 2018; Wu et al., 2017; Guo et al., 2022). ПМП способствуют улучшению процессов замораживания и качества различных продуктов, таких как говяжий фарш (Goldschmidt Lins et al., 2017), куриная грудка (Mok et al., 2017), черника и огурцы (Tang et al., 2020; Zhang et al., 2020). Эти поля также демонстрируют выраженный бактерицидный эффект, эффективный в отношении стафилококков и дрожжей (He et al., 2014; Lin et al., 2019; Novickij et al., 2021; Boda et al., 2015; Mercado-Sáenz et al., 2022).

ПМП повышают проницаемость клеточных мембран за счет электропорации, способствуя лучшему извлечению биоактивных соединений (Towhidi et al., 2012; Lakshmanan et al., 2014; Miklavcic et al., 2020). Применение этих полей совместно с натамицином увеличивает выход капусты и снижает потери при хранении (Бабакина и соавт., 2021). Статические магнитные поля показали эффективность для поддержания переохлажденного состояния говядины (Lin et al., 2022), а низкочастотные и сверхвысокочастотные поля в сочетании с теплом обеспечивают обеззараживание зерна (Максименко, 2021). Градиентные постоянные магнитные поля ускоряют процесс сушки табачных листьев (Виневский & Чернов, 2021).

Импульсные электрические поля (ИЭП) продемонстрировали потенциал в сокращении энергозатрат и повышении эффективности экстракции и качества продуктов (Arshad et al., 2021; Nowosad et al., 2021; Katsimichas et al., 2024). При этом изменения в структуре белков под воздействием ИЭП влияют на качество продукции (Müller et al., 2022), что ограничивает промышленное применение из-за необходимости учета ряда факторов (Iaccheri et al., 2021; Neri et al., 2021). ИЭП также продлевают срок хранения и сохраняют качество продуктов, таких как бананы, томаты, финики и атемойя (Chen et

al., 2022; Chang et al., 2023; Younis et al., 2023). В видеоделии ИЭП повышают органолептические характеристики, включая цитрусовые и зеленые ноты, что позволяет экономить время и энергию (Liang et al., 2023). Применение ИЭП при сушке растительного сырья, например, листьев базилика, способствует удержанию терпеноидов (Kanafusa et al., 2022), а в микробном контроле вина обеспечивает инактивацию *Brettanomyces bruxellensis* (Delso et al., 2023; van Wyk et al., 2019).

ИЭП эффективно влияют на ростовые кривые бактерий, таких как *Erwinia amylovora*, изменяя структуру их клеточных стенок (Mostafa et al., 2021), а также способствуют снижению микробной обсемененности и сохранению фенольных соединений в ферментированных напитках (Rios-Corripio et al., 2022). По сравнению с традиционной пастеризацией, ИЭП обеспечивают лучшее сохранение органолептических характеристик (Charles-Rodríguez et al., 2007). Применение ИЭП в экстракции белка из морских макроводорослей, в частности *Ulva* sp., увеличивает выход белка и улучшает антиоксидантные свойства экстрактов (Steinbruch et al., 2023). Субкритическая водная экстракция в сочетании с умеренными электрическими полями повышает выход агара без ухудшения его свойств (Pereira et al., 2023). ИЭП также повышают эффективность экстракции компонентов водорослей, что улучшает питательные среды для пробиотиков (Ricos-Muñoz et al., 2023).

Функциональные напитки из красной опунции и сои после обработки ИЭП демонстрируют увеличение содержания фенольных соединений и беталаинов при сохранении физико-химических свойств (Morales-de la Peña et al., 2023). ИЭП модифицируют структуру мицеллярного казеина, улучшая его биологическую активность (Morais et al., 2023) и ускоряют реакцию Майяра, что повышает стабильность эмульсий (Taha et al., 2022).

ИЭП эффективны при предварительной и промежуточной обработке растительных продуктов, способствуя сокращению времени сушки и снижению энергозатрат, что подтверждено исследованиями на картофеле, моркови и грибах шиитаке (Бурак & Сапач, 2023; Kim et al., 2023). В некоторых случаях, например, при сушке яблок, обработка ИЭП может вызвать потемнение поверхности (Iranshahi et al., 2023). Использование ИЭП в обработке личинок

*Tenebrio molitor* увеличивает выход и снижает содержание влаги (El Hajj et al., 2023), а при экстракции белков и жиров из биомассы сверчка домашнего повышает выход белков и антиоксидантную активность (Psarianos et al., 2022).

Использование умеренных электрических полей (УЭП) для пастеризации молока сокращает энергозатраты и время обработки (Alsaedi et al., 2023), а по сравнению с другими методами нетермической обработки, такими как ВГД и УФ-С, ИЭП и ВГД позволяют сохранить больше витамина В12 (Ceribeli et al., 2023).

### Обработка светом с волнами различной длины

Использование ультрафиолетового (УФ) излучения как нетермического метода обработки продуктов характеризуется минимальными энергозатратами и экологической безопасностью, что исключает необходимость использования химических реагентов (Hirt et al., 2022; Mfa Mezui & Swart, 2010). Применение УФ-излучения с длиной волны 254 нм демонстрирует высокую эффективность для дезинфекции жидких продуктов, включая молоко и соки, а также для обработки поверхностей, подверженных обсеменению патогенными микроорганизмами, такими как *E. coli*, *Salmonella typhimurium* и *Listeria monocytogenes* (Keyser et al., 2008; Kim, Lee & Kang, 2023). Однако УФ-обработка может приводить к образованию соединений, ухудшающих органолептические характеристики продуктов, как, например, накопление 3-метил-2-бутен-1-тиола, вызывающего «солнечный» привкус пива (Mfa Mezui & Swart, 2010). Эффективность метода зависит от оптических свойств материала (Pihen et al., 2023).

В пивоварении УФ-обработка может использоваться для изомеризации  $\alpha$ -кислот хмеля в изо- $\alpha$ -кислоты при длине волны 313 нм, что позволяет добиться высокого выхода изогумуллона без применения химических катализаторов и затрат на нагрев (Viriot et al., 1980). Однако при этом возникает риск возникновения нежелательных вкусовых характеристик, что требует дополнительных исследований.

Применение УФ-излучения для ингибирования микрофлоры эффективно как для сырья, так и для упакованных продуктов при условии использова-

ния упаковки с проницаемостью, обеспечивающей бактерицидный эффект (Илюхина et al., 2021). Дозы до 50 Дж/м<sup>2</sup> приводят к резкому снижению микробной обсемененности, а полное ингибирование достигается при дозах 2000–2500 Дж/м<sup>2</sup>.

Эффективность УФ-обработки для пастеризации соков подтверждена минимальными изменениями фенольных соединений и цвета продукта, что делает её предпочтительнее термической пастеризации (Yang et al., 2019). Срок хранения таких соков увеличивается на три недели при хранении при 4 °С, в то время как термическая обработка обеспечивает более длительное хранение, но с ухудшением качественных характеристик.

Применение УФ-излучения с длиной волны 222 нм эффективно для инактивации различных патогенов, включая грамположительные и грамотрицательные бактерии, такие как *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *E. coli* и *Pseudomonas aeruginosa*, при дозах до 354 мДж/см<sup>2</sup>. Это воздействие не только снижает титр на 5 порядков, но и препятствует образованию биопленок, повышая чувствительность клеток к гипохлориту натрия (Chen & Moraru, 2023). УФ-С системы показали высокую эффективность против грибов *Hyphopichia burtonii*, *Penicillium brevicompactum* и *Aspergillus brasiliensis* на полиэтилентерефталатных крышках (Belloli et al., 2022).

Импульсное УФ-облучение, комбинированное с диметилдикарбонатом, показало снижение мутности и содержания фенолов и витамина С в ананасовом соке, хотя полного микробиологического контроля не достигалось (Shamsudin et al., 2014). Для яблочного сока аналогичная обработка обеспечивала микробиологическую стабильность без ухудшения качества (Llano et al., 2016), а применение УФ-светодиодов помогало контролировать ферментативную активность томатного сока (Pizarro-Oteiza & Salazar, 2022).

Активность галловой кислоты при воздействии УФ-С света усиливалась, что подтверждено при обработке *E. coli*: снижение обсемененности зависело от исходного титра микробов и концентрации кислоты (Luna-Domínguez et al., 2023).

Импульсный свет (ИС) рассматривается как перспективный метод для уменьшения содержания

токсинов, таких как патулин, и интенсификации образования конъюгатов глутатиона в яблочных продуктах (Rodríguez-Bencomo et al., 2020). ИС с длинами волн от 200 до 1100 нм обеспечивает снижение микробной нагрузки и улучшение качества, однако влияние на биоактивные соединения требует дополнительных исследований (Hierro et al., 2022; Wiktor et al., 2019; Mahendran et al., 2019). Важно учитывать возможное повышение температуры при обработке, что нежелательно для термолабильных продуктов (Basak et al., 2023).

ИС для пастеризации кокосовой воды продемонстрировал эффективность в инактивации *E. coli*, *B. cereus* и *L. monocytogenes* при сохранении органолептических характеристик и более высоком уровне антиоксидантов и витамина С по сравнению с термической пастеризацией (Basak et al., 2023). Аналогичные результаты получены при обработке напитков из жожоба и других фруктов: ИС увеличивал срок хранения и сохранял антиоксиданты и витамин С (Basak et al., 2022).

Фотодинамическая инактивация с добавлением куркумина показала эффективность против *P. expansum*, снижая патулин на 93,06% за счет накопления активных форм кислорода, вызывающих повреждение клеток грибов (Pang et al., 2022). ИС эффективно разрушал охратоксин в виноградном соке, не изменяя физико-химических свойств, но влияя на ароматический профиль (Wang et al., 2022).

Сочетание синего света и рибофлавина демонстрирует антимикробную активность за счет генерации активных форм кислорода, что приводит к повреждению клеточных мембран патогенов и снижению их количества в яблочном соке (Kim et al., 2022).

ИК-обработка повышает качество семян злаков, увеличивая содержание антиоксидантов и устойчивость к неблагоприятным условиям (Данильчук и соавт., 2014). Инфракрасное шелушение томатов сохраняет свойства пектина, улучшая водоудерживающую способность и минимально влияя на степень этерификации (Liu et al., 2023). ИК-излучение эффективно для сушки и бланширования продуктов, таких как морковь и листья *Stevia rebaudiana*, при сохранении питательных веществ и улучшении текстуры (Wu et al., 2023; Ai et al., 2022).

Лазерная и светодиодная обработка семян увеличивает прорастание и урожайность пшеницы и сахарной свеклы, повышает содержание сахара в корнеплодах и снижает массу ботвы (Jamil et al., 2013; Подвигина et al., 2022). Облучение светодиодами сохраняет качество хранения овощей, таких как брокколи и капуста, снижая потери питательных веществ (Pintos et al., 2023). Монохроматический свет полезен для активации роста дрожжей в пивоварении (Супрунюк & Карпенко, 2016).

### Воздействие ионизирующих излучений

Гамма-облучение применяется в пищевой промышленности как метод консервирования, обеспечивающий защиту зерна от насекомых и микроорганизмов. Дозы 0,2–1,0 кГр эффективно уничтожают вредителей, а при 5 кГр происходит инактивация спор грибов и бактерий. Безопасность облучения пищевых продуктов до 10 кГр подтверждена международными организациями, такими как ФАО, МАГАТЭ и ВОЗ (Köksel et al., 1998). Исследования Со60 гамма-облучения образцов ячменя продемонстрировали, что дозы до 75 Крад не влияют на качество солода, в то время как дозы 125 и 250 Крад увеличивают выход солода, но снижают активность  $\alpha$ -амилазы (Avtar et al., 1985). Однако результаты обработки турецких сортов ячменя показали, что метод требует оптимизации параметров, так как не улучшает характеристики солода (Köksel et al., 1998). Стабилизация пива с использованием гамма-облучения оказалась проблематичной из-за неприемлемых изменений вкуса и аромата при дозах выше 40 крад, несмотря на отсутствие значительных изменений в концентрации полифенолов (Delcour et al., 1986).

Рентгеновское излучение проявило эффективность в увеличении срока хранения плодов, таких как киви и ягоды унаби. Дозы 200–400 Гр замедляли процессы порчи и способствовали сохранению структуры тканей и активности ферментов, ингибирующих разложение (Ye et al., 2023; Guo et al., 2022). Обработка шампиньонов рентгеновским излучением до 2,0 кГр приводила к улучшению текстуры и снижению проницаемости клеточных мембран (Dong et al., 2022).

Электронно-лучевое облучение (ЭЛО) показало свою эффективность в снижении микробной об-

семенности и уровня микотоксинов в ячмене. Дозы 6–10 кГр уменьшали содержание ДОН на 60–100%, при этом качество солода изменялось незначительно (Kottapalli et al., 2006). Применение ЭЛО в обработке мясных продуктов, включая сыровяленную ветчину, обеспечивало снижение риска присутствия *Listeria monocytogenes* (Lucas et al., 2023). Для специй обработка электронными лучами снижала титр *Salmonella enterica* на 5 порядков (Murdoch et al., 2022).

ЭЛО молока и его фракций способствовало повышению антиоксидантной активности и сохранению ингибиторного действия на  $\alpha$ -амилазу. Цитотоксические эффекты проявлялись лишь при высоких дозах и затрагивали отдельные фракции сыворотки (Harizi et al., 2023). Обработка яичного порошка электронными лучами улучшала его растворимость и антиоксидантную активность; высокие дозы способствовали деполимеризации белков, что положительно сказывалось на эмульгирующих свойствах (Liu et al., 2023).

Отрицательные последствия ЭЛО включают изменения в составе жирных кислот и усиление окислительных процессов. В козьем молоке отмечено увеличение содержания насыщенных жирных кислот и ухудшение вкусовых характеристик после обработки высокими дозами (Wen et al., 2023).

### Комбинированные методы

Комбинированное использование различных типов волновых и полевых воздействий демонстрирует высокую эффективность по сравнению с их изолированным применением. Микроволновая пастеризация, известная своей энергосберегающей природой, имеет недостаток в виде термической неоднородности. Для устранения этого ограничения предложено сочетание микроволновой и ультразвуковой обработки, что позволило достичь необходимого уровня обеспложивания и минимизировать негативное влияние на функциональные свойства жидкого яичного белка. Обнаружено увеличение размера частиц на 48,5 нм вследствие денатурации и агрегации белков, при этом вторичная структура оставалась практически неизменной. Данный метод обеспечил улучшение эмульгирующей способности, стабильности эмульсии и прочности геля на 6,83%, 7,41% и 77 г соответственно (Liu et al., 2022).

Комбинированная кратковременная микроволновая обработка малой мощности перед инфракрасным нагревом повышает эффективность очистки свеклы. Исследования показали, что обработка МВММ при мощности 640 Вт и продолжительности 7 минут в сочетании с ИК-нагревом обеспечивает наибольшую отслаиваемость (99,4%), минимальную толщину отслаивания (0,075 мм) и остаток отслаивания (0,8%), а также наименьшие потери при отслаивании (4,23 г). В сравнении с традиционной щелочной очисткой и только ИК-обработкой, комбинированный метод показал лучшее соотношение сохранения витамина С и уменьшение изменения цвета поверхности (Okonkwo, Ojediran et al., 2022).

Комбинация импульсного электрического поля с омическим нагревом продемонстрировала значительную дезинтеграцию растительных клеток и увеличение выхода биологически активных соединений, таких как каротиноиды и полифенолы, при производстве яблочного и морковного пюре (Mannozi et al., 2018). Для инактивации патогенов *Escherichia coli* O157 и *Salmonella typhimurium* в молоке и апельсиновом соке предложена комбинация импульсного омического нагрева и УФ-света с длиной волны 365 нм. Данная обработка обеспечивала значительное снижение титра клеток (более чем на порядок) по сравнению с использованием этих методов по отдельности (Cho & Kang, 2023).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ литературных данных демонстрирует перспективность использования комбинированных технологий обработки в пищевой промышленности, направленных на повышение эффективности процессов и улучшение качества продукции. Сочетание микроволновой и ультразвуковой обработки, обеспечивающее устранение термической неоднородности при пастеризации, показало свою ценность для жидких продуктов, таких как яичный белок. Полученные данные подтверждают, что комбинированное воздействие не только способствует необходимому уровню обеспложивания, но и минимизирует негативные изменения функциональных свойств белков. Наблюдаемый рост размера частиц на 48,5 нм и улучшение эмульгирующих характеристик можно рассматривать как положительное влияние такого метода, который потенци-

ально может заменить или дополнить традиционные технологии пастеризации (Liu et al., 2022).

Комбинированное применение микроволновой обработки малой мощности перед инфракрасным нагревом улучшает эффективность очистки растительных продуктов, таких как свекла. Результаты исследований показывают, что именно совместное использование этих методов обеспечивает оптимальные характеристики отслаиваемости и минимальные потери при обработке. Достижения в этой области позволяют предположить, что такие комбинированные технологии могут быть внедрены для повышения производительности и сохранения питательной ценности сырья, что подтверждается результатами, сравнивающими эти методы с традиционными способами обработки (Okonkwo, Ojediran et al., 2022).

Использование импульсного электрического поля в сочетании с омическим нагревом демонстрирует значительное увеличение выхода биологически активных соединений, что делает эти методы особенно привлекательными для переработки растительных продуктов. Полученные данные показывают, что данное сочетание способствует интенсивной дезинтеграции клеточных структур, что улучшает извлечение ценных компонентов, таких как каротиноиды и полифенолы, при производстве фруктово-овощных пюре (Mannozi et al., 2018).

Комбинированное воздействие импульсного омического нагрева и ультрафиолетового света с длиной волны 365 нм представляет собой эффективный метод инактивации патогенов в жидких пищевых продуктах, таких как молоко и апельсиновый сок. Это подтверждается значительным снижением титра *Escherichia coli* O157 и *Salmonella typhimurium*, что делает этот подход перспективным для использования в промышленных масштабах. Полученные результаты свидетельствуют о том, что комбинированное воздействие более эффективно по сравнению с отдельным применением методов, что открывает новые возможности для обеспечения микробиологической безопасности продуктов (Cho & Kang, 2023).

Обсуждаемые комбинированные технологии подтверждают тенденцию к повышению эффективности пищевых процессов и снижению энергозатрат. Сочетание различных методов позволяет не только

достичь необходимой степени инактивации микроорганизмов и улучшения качества продукции, но и сохранять биоактивные соединения, что особенно важно для продуктов с высокой добавленной стоимостью. В то же время вопросы термической неоднородности и влияния на органолептические характеристики требуют дальнейших исследований и оптимизации параметров обработки для широкого промышленного применения.

## Ограничения

Настоящий обзор, несмотря на широкий охват данных и различных методов обработки пищевых продуктов, имеет ряд ограничений. Во-первых, анализ включал исследования, опубликованные в ограниченном временном периоде, что могло повлиять на полноту представленных данных. Во-вторых, вариативность экспериментальных условий в различных исследованиях затрудняет проведение прямого сравнения результатов, что ограничивает возможности для точных выводов о сравнительной эффективности методов. Также следует отметить, что многие источники фокусировались на лабораторных исследованиях и пилотных проектах, что создает барьер для обобщения результатов и их экстраполяции на промышленные условия.

Кроме того, существующие данные не всегда отражают долгосрочные последствия применения комбинированных методов обработки для сохранения качества и безопасности продуктов. Вопросы устойчивости технологий к изменениям условий внешней среды и экономической целесообразности также остаются недостаточно исследованными, что требует дальнейших подробных исследований.

Важно учитывать, что влияние новых методов обработки на органолептические характеристики продукции требует дополнительной оценки. Обобщенные выводы об эффективности методов могут не учитывать специфических особенностей сырья и процессов, что также ограничивает применимость результатов обзора для отдельных случаев. Наконец, недостаток унифицированных методологических подходов к исследованию и оценке результатов обработки ограничивает сопоставимость данных и требует разработки единых стандартов для оценки влияния волновых и полевых методов на качество и безопасность пищевых продуктов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данный обзор предметного поля продемонстрировал, что применение волновых и полевых воздействий в рациональных режимах способно интенсифицировать технологические процессы, повысить качество и безопасность пищевой продукции. Это подчеркивает важность дальнейшего изучения и оценки эффективности таких методов в пищевой промышленности.

При всем многообразии технологий и режимов обработки, выявлено, что универсального метода, подходящего для решения всех задач, не существует. Эффективность воздействия зависит от целей обработки, характеристик объекта и необходимых показателей качества готового продукта. Результаты могут варьироваться от положительных до отрицательных в зависимости от используемых параметров обработки, что требует тщательной настройки режимов для достижения желаемых результатов.

Тем не менее, перспективность использования волновых и полевых методов для интенсификации процессов очевидна. Применение этих методов способно улучшить производственные процессы, повысить качество и безопасность продукции, а также снизить затраты. Однако промышленное применение данных технологий требует учета нескольких факторов: выбора типа воздействия и оптимальных режимов, минимизации образования нежелательных компонентов, достижения необходимых органолептических и физико-химических характеристик продукта, оценки энергозатрат, стоимости оборудования и его эксплуатационных характеристик.

Выбор наиболее подходящего типа волнового или полевого воздействия для конкретного объекта или процесса может быть обоснован только на основании серии сравнительных экспериментов. Такие исследования должны подтвердить эффективность различных методов обработки, опираясь на нормативные и технологические показатели качества промежуточной и готовой продукции.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Дмитрий Валерьевич Карпенко:** концептуализация, методология, проведение исследования, администрирование данных, создание рукописи и её редактирование, администрирование проекта.

**Артем Геннадиевич Гришин:** концептуализация, проведение исследования, создание черновика рукописи, визуализация.

**Анна Дмитриевна Заграничная:** проведение исследования, создание рукописи и её редактирование, визуализация.

**Максим Геннадьевич Гордюшин:** сбор первичной информации, проведение исследования, визуализация.

**Елизавета Михайловна Смирнова:** сбор первичной информации, проведение исследования, визуализация.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Алексеевко, 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). Methods of blueberry processing: Current state and development prospects. *Storage and Processing of Farm Products*, 1, 22–44. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.353>

Бабакина, М. В., Михайлюта, Л. В., Першакова, Т. В., Купин, Г. А., & Самойленко, М. В. (2021). Натामीцин и электромагнитные поля: влияние на качество капусты при хранении. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 69–80. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.229>

Babakina, M. V., Mikhailuta, L. V., Pershakova, T. V., Kupin, G. A., & Samoilenko, M. V. (2021). Natamycin and electromagnetic fields: Effect on the quality of cabbage during storage. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 69–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.229>

Бурак, Л. Ч., & Сапач, А. Н. (2023). Влияние предварительной обработки импульсным электрическим полем на процесс сушки: обзор предметного поля. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 44–71. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.418>

Burak, L. Ch., & Sapach, A. N. (2023). The impact of preliminary treatment with pulsed electric field on the drying process: A Scoping review. *Storage and*

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Dmitry V. Karpenko:** conceptualization, methodology, investigation, data curation, writing — review & editing, project administration.

**Artem G. Grishin:** conceptualization, investigation, writing — original draft preparation, visualization.

**Maksim G. Gordjushin:** data collection, investigation, visualization.

**Anna D. Zagranichnaya:** investigation, writing — original draft preparation, visualization.

**Elizaveta M. Smirnova:** data collection, investigation, visualization.

*Processing of Farm Products*, (2) 44–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.418>

Виневский, Е. И., & Чернов, А. В. (2021). Обоснование режимов градиентного воздействия постоянного магнитного поля на листья табака в процессе их переработки. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 62–72. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.188>

Vinevsky, E. I., & Chernov, A. V. (2021). Justification of gradient magnetic field impact regimes on tobacco leaves during processing. *Storage and Processing of Farm Products*, 1, 62–72. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.188>

Гернет, М. В., & Грибкова, И. Н. (2020). Современные способы использования хмелепродуктов в пивоварении. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 34–42. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.328>

Gernet, M. V., & Gribkova, I. N. (2020). Modern methods of using hop products in brewing. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 34–42. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.328>

Данильчук, Т. Н., Рогов, И. А., & Демидов, А. В. (2014). Повышение антиоксидантной активности проростков злаковых культур под воздействием инфракрасного излучения. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (9), 16–21.

Danilchuk, T. N., Rogov, I. A., & Demidov, A. V. (2014). Increasing antioxidant activity of cereal sprouts under infrared radiation. *Storage and Processing of Farm Products*, (9), 16–21. (In Russ.)

- Данильчук, Т. Н., Юрьев, Д. Н., & Ратников, А. Ю. (2008). Стимуляция биохимических процессов в прорастающем зерне акустическими и электрофизическими методами воздействия. *Пиво и напитки*, 6, 11–14.
- Danilchuk, T. N., Yuriev, D. N., & Ratnikov, A. Yu. (2008). Stimulation of biochemical processes in germinating grain by acoustic and electrophysical methods. *Beer and Beverages*, 6, 11–14. (In Russ.)
- 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), 15–32. <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 fruit-based beverages: A Scoping review. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 15–32. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.447>
- Зайцева, Л. В., Пестерев, М. А., Малахова, А. С., Лаврухин, М. А., & Баженова, А. Е. (2023). Оценка целесообразности применения кавитационных воздействий в производстве помадных конфет с тыквенной подваркой. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 187–200. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.355>
- Zaitseva, L. V., Pesterev, M. A., Malakhova, A. S., Lavrukhin, M. A., & Bazhenova, A. E. (2023). Assessment of the feasibility of using cavitation effects in the production of fondant candies with pumpkin paste. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 187–200. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.355>
- Илюхина, Н. В., Колоколова, А. Ю., Тришканева, М. В., Крюкова, Е. В., Горячева, Е. Д., & Беркетова, Л. В. (2021). Исследование динамики ингибирования микрофлоры растительного сырья в результате обработки ультрафиолетовым излучением. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 117–126. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.194>
- Ilyukhina, N. V., Kolokolova, A. Yu., Trishkaneva, M. V., Kryukova, E. V., Goryacheva, E. D., & Berketova, L. V. (2021). Study of the dynamics of inhibition of microflora of plant raw materials as a result of ultraviolet treatment. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 117–126. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.194>
- Карпенко, Д. В., & Беркетова, М. А. (2012). Изучение влияния акустических колебаний на качество пивоваренного ячменного солода. *Пиво и напитки*, (5), 14–16.
- Karpenko, D. V., & Berketova, M. A. (2012). Study of the effect of acoustic vibrations on the quality of brewing barley malt. *Beer and Beverages*, (5), 14–16. (In Russ.)
- Карпенко, Д. В., & Беркетова, М. А. (2012). Оптимизация параметров акустической обработки пивоваренного ячменного солода. *Пиво и напитки*, (4), 8–10.
- Karpenko, D. V., & Berketova, M. A. (2012). Optimization of parameters for acoustic processing of brewing barley malt. *Beer and Beverages*, (4), 8–10. (In Russ.)
- Карпенко, Д. В., Гернет, М. В., Крюкова, Е. В., Грибкова, И. Н., Нурмуханбетова, Д. Е., & Асембаева, Э. К. (2019). Влияние акустических колебаний на развитие популяций дрожжей рода *Saccharomyces*. *Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия геология и технические науки*, 4(436), 103–112. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.103>
- Karpenko, D. V., Gernet, M. V., Kryukova, E. V., Gribkova, I. N., Nurmukhanbetova, D. E., & Asembayeva, E. K. (2019). Influence of acoustic vibrations on the development of yeast populations of the genus *Saccharomyces*. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 4(436), 103–112. (In Russ.) <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.103>
- Карпенко, Д. В., Кравченко, В. С., & Шалагинов, К. В. (2017). Активация амилолитического ферментного препарата волновыми воздействиями. *Пиво и напитки*, (5), 16–19.
- Karpenko, D. V., Kravchenko, V. S., & Shalaginov, K. V. (2017). Activation of amylolytic enzyme preparation by wave effects. *Beer and Beverages*, (5), 16–19. (In Russ.)
- Карпенко, Д. В., & Позднякова, И. Э. (2016). Повышение экстрактивности хмеля с помощью акустической обработки. *Пиво и напитки*, (6), 46–49.
- Karpenko, D. V., & Pozdnyakova, I. E. (2016). Increasing hop extractivity using acoustic processing. *Beer and Beverages*, (6), 46–49. (In Russ.)
- Кондратенко, Т. Ю., Кондратенко, В. В., Курбанова, М. Н., & Пацюк, Л. К. (2023). Ультразвуковая кавитация и её потенциальное влияние на микрофлору. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 75–97. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.4.463>
- Kondratenko, T. Yu., Kondratenko, V. V., Kurbanova, M. N., & Patsyuk, L. K. (2023). Ultrasonic cavitation and its potential effect on microflora. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 75–97. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.4.463>
- Крылов, О. Н., Киселев, М. М., Решетников, А. Е., & Абашева, О. Ю. (2023). Предпосевная оптическая обработка семян зерновых культур на примере озимой ржи «Фаленская 4». *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 214–230. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.439>
- Krylov, O. N., Kiselev, M. M., Reshetnikov, A. E., & Abasheva, O. Yu. (2023). Pre-sowing optical treatment of grain seeds on the example of winter rye “Falenetskaya 4”. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 214–230. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.439>
- Максименко, В. А. (2021). Конические решетки в устройствах для обеззараживающей обработки зерна. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 139–149. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.179>
- Maksimenko, V. A. (2021). Conical grids in devices for disinfecting grain processing. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 139–149. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.179>
- Подвигина, О. А., Путилина, Л. Н., & Лазутина, Н. А. (2022). Влияние лазерного облучения семян сахарной свёклы на продуктивность, технологическое качество и сохранность корнеплодов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 26–39. <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.335>

- Podvignina, O. A., Putilina, L. N., & Lazutina, N. A. (2022). The influence of laser irradiation on the productivity, technological quality, and preservation of sugar beet roots. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 26–39. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.335>
- Посокина, Н. Е., & Захарова, А. И. (2023). Современные нетермические способы обработки растительного сырья, применяемые для увеличения его храниспособности. *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 their shelf life. *Food Systems*, 6(1), 4–10. (In Russ.) <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-4-10>
- Супрунюк, А. Ю., & Карпенко, Д. В. (2016). Влияние обработки монохроматическим светом на характеристики пивных дрожжей. В *День Науки. Общеуниверситетская научная конференция молодых учёных и специалистов* (с. 134–138). М.: МГУПП.
- Suprunyuk, A. Yu., & Karpenko, D. V. (2016). The effect of monochromatic light treatment on the characteristics of brewing yeast. In *Science Day. University-wide scientific conference of young scientists and specialists* (pp. 134–138). Moscow: MGUPP. (In Russ.)
- Abesinghe, A. M. N. L., Vidanarachchi, J. K., Islam, N., & Karim, M.A. (2022). Effects of ultrasound on the fermentation profile and metabolic activity of lactic acid bacteria in buffalo's (*Bubalus bubalis*) milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103048. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103048>
- Afkhami, R., Varidi, M. J., Varidi, M., & Hadizadeh, F. (2023). Improvement of heat-induced nanofibrils formation of soy protein isolate through NaCl and microwave. *Food Hydrocolloids*, 139, 108443. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108443>
- Agcam, E. (2022). Degradation kinetics of pomegranate juice phenolics under cold and warm sonication process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103080. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103080>
- Ai, Z., Ren, H., Lin, Y., Sun, W., Yang, Z., Zhang, Y., Zhang, H., Yang, Z., Pandiselvam, R., & Liu, Y. (2022). Improving drying efficiency and product quality of Stevia rebaudiana leaves using innovative medium-and short-wave infrared drying (MSWID). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81, 103154. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103154>
- Aladjadjiyan, A. (2002). Increasing carrot seeds (*Daucus carota* L.), cv. Nantes, viability through ultrasound treatment. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 8, 469–472.
- Alaei, B., Chayjan, R. A., & Zolfigol, M. A. (2022). Improving tomato juice concentration process through a novel ultrasound-thermal concentrator under vacuum condition: A bioactive compound investigation and optimization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102983. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102983>
- Alsaedi, A. W. M., Al-Mousawi, A. J., Al-Hilphy, A. R., & Gavahian, M. (2023). Non-thermal pasteurization of milk by an innovative energy-saving moderate electrical field equipped with elongated electrodes and process optimization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103445. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103445>
- Altin, O., Skipnes, D., Skåra, T., & Erdogdu, F. (2022). A computational study for the effects of sample movement and cavity geometry in industrial scale continuous microwave systems during heating and thawing processes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102953. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102953>
- Arshad, R. N., Abdul-Malek, Z., Roobab, U., Munir, M. A., Naderipour, A., Qureshi, M. I., El-Din Bekhit, A., Liu, Z. W., & Aadil, R. M. (2021). Pulsed electric field: A potential alternative towards a sustainable food processing. *Trends in Food Science and Technology*, 111, 43–54. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.02.041>
- Avtar, S., Tejinder, S., & Bains, G. S. (1985). Effect of irradiation on the malting quality of barley. *Journal of The Institute of Brewing*, 91(4), 253–256. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1985.tb04335.x>
- Axelrod, R., Beyrer, M., & Mathys, A. (2022). Impact of the electric field intensity and treatment time on whey protein aggregate formation. *Journal of Dairy Science*, 105(8), 6589–6600. <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21395>
- Baier, M., Foerster, J., Schnabel, U., Knorr, D., Ehlbeck, J., Herppich, W. B., & Schlüter, O. (2013). Direct non-thermal plasma treatment for the sanitation of fresh corn salad leaves: Evaluation of physical and physiological effects and antimicrobial efficacy. *Postharvest Biology and Technology*, 84, 81–87. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.05.022>
- Balthazar, C. F., Cabral, L., Guimarães, J. T., Noronha, M. F., Cappato, L. P., Cruz, A. G., & Sant'Ana, A. S. (2022). Conventional and ohmic heating pasteurization of fresh and thawed sheep milk: Energy consumption and assessment of bacterial microbiota during refrigerated storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102947. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102947>
- Barba, F. J., Koubaa, M., do Prado-Silva, L., Orlie, V., de Souza Sant'Ana, A. (2017). Mild processing applied to the inactivation of the main foodborne bacterial pathogens: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 66, 20–35. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.011>
- Barrón-García, O. E., Nava-Álvarez, B., Gaytán-Martínez, M., Gonzalez-Jasso, E., & Morales-Sánchez, E. (2022). Ohmic heating blanching of *Agaricus bisporus* mushroom: Effects on polyphenoloxidase inactivation kinetics, color, and texture. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103105. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103105>
- Basak, S., Jha, T., & Chakraborty, S. (2023). Pasteurization of tender coconut water by pulsed light treatment: Microbial safety, enzymatic inactivation, and impact on physicochemical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103302. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103302>
- Basak, S., Mahale, S., & Chakraborty, S. (2022). Changes in quality attributes of pulsed light and thermally treated mixed fruit beverages during refrigerated storage

- (4° C) condition. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103025. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103025>
- Belloli, M., Cigarini, M., Milesi, G., Mutti, P., & Berni, E. (2022). Effectiveness of two UV-C light-emitting diodes (LED) systems in inactivating fungal conidia on polyethylene terephthalate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103050. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103050>
- Boda, S. K., Ravikumar, K., Saini, D. K., Basu, B. (2015). Differential viability response of prokaryotes and eukaryotes to high strength pulsed magnetic stimuli. *Bioelectrochemistry*, 106, 276–289. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2015.07.009>
- Bonifácio-Lopes, T., Vilas-Boas, A., Machado, M., Costa, E. M., Silva, S., Pereira, R. N., Campos, D., Teixeira, J. A., & Pintado, M. (2022). Exploring the bioactive potential of brewers spent grain ohmic extracts. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102943. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102943>
- Canelli, G., Kuster, I., Jaquenod, L., Buchmann, L., Martínez, P. M., Rohfritsch, Z., Dionisi, F., Bolten, C. J., Nanni, P., & Mathys, A. (2022). Pulsed electric field treatment enhances lipid bioaccessibility while preserving oxidative stability in *Chlorella vulgaris*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102897. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102897>
- Castro-Campos, F. G., Morales-Sánchez, E., Cabrera-Ramírez, Á. H., Martínez, M. M., Rodríguez-García, M. E., & Gaytán-Martínez, M. (2023). High amylose starch thermally processed by ohmic heating: Electrical, thermal, and microstructural characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103417. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103417>
- Ceribeli, C., Otte, J., Walkling-Ribeiro, M., Cardoso, D. R., & Ahrné, L. M. (2023). Impact of non-thermal pasteurization technologies on vitamin B12 content in milk. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103303. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103303>
- Chang, C.-K., Tsai, S.-Y., Gavahian, M., Cheng, K.-C., Hou, C.-Y., Yudhistira, B., Lin, S.-H., Santoso, S. P., & Hsieh, C.-W. (2023). Direct and alternating current electric fields affect pectin esterase and cellulase in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit during storage. *Postharvest Biology and Technology*, 205, 112495. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2023.112495>
- Chang, C.-K., Yang, Y.-T., Gavahian, M., Cheng, K.-C., Hou, C.-Y., Chen, M.-H., Santoso, S. P., & Hsieh, C.-W. (2023). Prolonging the shelf-life of atemoya (*Annona cherimola* × *Annona squamosa*) using pulsed electric field treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103458. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103458>
- Charles-Rodríguez, A. V., Nevárez-Moorillón, G. V., Zhang, Q. H., & Ortega-Rivas, E. (2007). Comparison of Thermal Processing and Pulsed Electric Fields Treatment in Pasteurization of Apple Juice. *Food and Bioprocess Technology*, 85(2), 93–97. <https://doi.org/10.1205/fbp06045>
- Chemat, F., Zill-e-Huma, & Khan, M. K. (2011). Applications of ultrasound in food technology: Processing, preservation and extraction. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(4), 813–835. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2010.11.023>
- Chemat, F., Rombaut, N., Meullemiestre, A., Turk, M., Perino, S., Fabiano-Tixier, A.-S., & Abert-Vian, M. (2017). Review of green food processing techniques. Preservation, transformation, and extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 41, 357–377. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.016>
- Chen, B., Chang, C., Cheng, K., Hou, C., Lin, J., Chen, M., Permatasari, S., Chen, C., & Hsieh, C. (2022). Using the response surface methodology to establish the optimal conditions for preserving bananas (*Musa acuminata*) in a pulsed electric field and to decrease browning induced by storage at a low temperature. *Food Packaging and Shelf Life*, 31, 100804. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2021.100804>
- Chen, B. R., Wang, Z. M., Lin, J. W., Wen, Q. H., Xu, F. Y., Li, J., Wang, R., & Zeng, X. A. (2022). Improving emulsification performance of waxy maize starch by esterification combined with pulsed electric field. *Food Hydrocolloids*, 129, 107655. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107655>
- Chen, H., & Moraru, C. I. (2023). Exposure to 222 nm far UV-C effectively inactivates planktonic foodborne pathogens and inhibits biofilm formation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103411. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103411>
- Cho, E.-R., & Kang, D.-H. (2023). Combination system of pulsed ohmic heating and 365-nm UVA light-emitting diodes to enhance inactivation of foodborne pathogens in phosphate-buffered saline, milk, and orange juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103250. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103250>
- Cokgezme, O. F., & Icier, F. (2022). Frequency and wave type effects on extractability of oleuropein from olive leaves by moderate electric field assisted extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102985. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102985>
- Cui, B., Sun, Y., Wang, K., Liu, Y., Fu, H., Wang, Y., & Wang, Y. (2022). Pasteurization mechanism on the cellular level of radio frequency heating and its possible non-thermal effect. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103026. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103026>
- Cui, H., Ma, C., Li, C., & Lin, L. (2016). Enhancing the antibacterial activity of thyme oil against *Salmonella* on eggshell by plasma-assisted process. *Food Control*, 70, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.056>
- Delcour, J. A., Van Roey, G., & Delvaux, F. (1986). The effects of gamma-irradiation of Pilsner beer. *Journal of The Institute of Brewing*, 92(6), 591–593. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1986.tb04458.x>
- Delso, C., Ospina, S., Berzosa, A., Raso, J., & Álvarez-Lanzarote, I. (2023). Defining winery processing conditions for the decontamination of must and wine spoilage microbiota by Pulsed Electric Fields (PEF). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 03478. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103478>
- Devkota, L., He, L., Bittencourt, C., Midgley, J., & Haritos, V. S. (2022). Thermal and pulsed electric field (PEF)

- assisted hydration of common beans. *LWT – Food Science and Technology*, 158, 113163. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113163>
- Dhua, S., Kumar, K., Sharanagat, V. S., & Nema, P. K. (2022). Bioactive compounds and its optimization from food waste: Review on novel extraction techniques. *Nutrition and Food Science*, 53(8), 1270–1288. <https://doi.org/10.1108/NFS-12-2021-0373>
- Dima, P., Stubbe, P. R., Mendes, A. C., & Chronakis, I. S. (2023). Control and promotion of probiotic cells' aggregation and viability using DC electric field and standing acoustic waves. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103423. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103423>
- Dong, S., Guo, J., Yu, J., Bai, J., Xu, H., Li, M. (2022). Effects of electron-beam generated X-ray irradiation on the postharvest storage quality of *Agaricus bisporus*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103079. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103079>
- El Hajj, R., Mhemdi, H., Karamoko, G., Karoui, R., Allaf, K., Lebovka, N., & Vorobiev, E. (2023). Impact of pulsed electric field treatment on the viability of *Tenebrio molitor* insect biomass, and on the following pressing and drying processes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103462. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103462>
- El-Khatib, A. M., Khalil, A. M., El-Kaliuoby, M. I., & Elkhatib, M. (2019). The combined effects of multisized silver nanoparticles and pulsed magnetic field on *K. pneumonia*. *Bioinspired, Biomimetic and Nanobiomaterials*, 8(2), 154–160. <https://doi.org/10.1680/jbibn.18.00042>
- Fan, L., Xu, J., Guan, X., Li, R., & Wang, S. (2023). Developing radio frequency pretreatment technology for improving yield and quality of flaxseed oil extractions. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103363. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103363>
- Ferreira, I. J. B., Alexandre, E. M. C., Saraiva, J. A., & Pintado, M. (2022). Green emerging extraction technologies to obtain high-quality vegetable oils from nuts: A review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102931. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102931>
- Gagneten, M., González Cáceres, S., Rodríguez Osuna, I. A., Olaiz, N. M., Schebor, C., & Leiva, G. E. (2023). Modification of cassava starch by acetylation and pulsed electric field technology: Analysis of physical and functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85:103344. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103344>
- Gasparini, A., Ferrentino, G., Angeli, L., Morozova, K., Zatelli, D., & Scampicchio, M. (2023). Ultrasound assisted extraction of oils from apple seeds: A comparative study with supercritical fluid and conventional solvent extraction. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103370. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103370>
- Gavahian, M., Yang, Y.-H., & Tsai, P.-J. (2022). Power ultrasound for valorization of *Citrus limon* (cv. Eureka) waste: Effects of maturity stage and drying method on bioactive compounds, antioxidant, and anti-diabetic activity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103052. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103052>
- Goldschmidt Lins, P., Aparecida Silva, A., Piccoli Pugine, S. M., Cespedes Arce, A. I., Xavier Costa, E. J., Pires De Melo, M. (2017). Effect of exposure to pulsed magnetic field on microbiological quality, color and oxidative stability of fresh ground beef. *Journal of Food Process Engineering*, 40(2), e12405. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12405>
- Gordon, A. G. (1963). The use of ultrasound in agriculture. *Ultrasonics*, 1963, 1(2), 70–77. [https://doi.org/10.1016/0041-624X\(63\)90057-X](https://doi.org/10.1016/0041-624X(63)90057-X)
- Guionet, A., Fujiwara, T., Sato, H., Takahashi, K., Takaki, K., Matsui, M., Tanino, T., & Ohshima, T. (2021). Pulsed electric fields act on tryptophan to inactivate  $\alpha$ -amylase. *Journal of Electrostatics*, 112, 103597. <https://doi.org/10.1016/j.elstat.2021.103597>
- Guo, F., Qian, K., Li, X., Deng, X. (2022). Simulation study of cell transmembrane potential and electroporation induced by time-varying magnetic fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81, 103117. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103117>
- Guo, L., Nie, X.-M., Yang, Y.-H., Ren, Y., Ding, X., & Qian, J.-Y. (2023). Using electric field to modify wet gluten as meat analogue material: A comparative study between pulsed and direct current electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103300. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103300>
- Guo, X., Guo, Y., Yu, J., Gu, T., Russo, H. B., Liu, Q., Du, J., Bai, J., Zhang, B., & Kou, L. (2022). X-ray irradiation – nonthermal processing and preservation of fresh winter jujube (*Zizyphus jujuba* mill. cv. Dalidongzao). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81, 103151. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103151>
- Harizi, N., Madureira, J., Haffani, Y. Z., Zouari, A., Ayadi, M. A., Cabo Verde, S., & Boudhrioua, N. (2023). E-beam irradiation of defatted liquid camel and cow milk fractions: Antiproliferative, antidiabetic and antioxidant activities. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103457. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103457>
- He, R., Ma, H., & Wang, H. (2014). Inactivation of *E. coli* by high-intensity pulsed electromagnetic field with a change in the intracellular  $\text{Ca}^{2+}$  concentration. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 28(4), 459–469. <https://doi.org/10.1080/09205071.2013.874539>
- Hejazi, S., Siahpoush, V., Ostadrahimi, A., Jahani, B. K. G., Ghasempour, Z. (2022). High-voltage electric discharge as pretreatment for efficient extraction of bioactive compounds from red onion peel. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81, 103153. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103153>
- Hernández-Corroto, E., Boussetta, N., Marina, M. L., García, M. C., & Vorobiev, E. (2022). High voltage electrical discharges followed by deep eutectic solvents extraction for the valorization of pomegranate seeds (*Punica granatum* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103055. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103055>
- Hierro, E., Hospital, X. F., Fernández-León, M. F., Caballero, N., Cerdán, B., Fernández, M. (2022). Impact of voltage and pulse delivery mode on the efficacy of pulsed light for the inactivation of *Listeria*. *Innovative*

- Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102973. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102973>
- Hirt, B., Hansjosten, E., Hensel, A., Gräf, V., & Stahl, M. (2022). Improvement of an annular thin film UV-C reactor by fluid guiding elements. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102988. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102988>
- Hu, R., Zhang, M., & Mujumdar, A. S. (2022). Novel assistive technologies for efficient freezing of pork based on high voltage electric field and static magnetic field: A comparative study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103087. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103087>
- Iaccheri, E., Castagnini, J. M., Rosa, D. M., & Rocculi, P. (2021). New insights into the glass transition of dried fruits and vegetables and the effect of pulsed electric field treatment. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 67, 102566. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102566>
- Iaccheri, E., Castagnini, J. M., Tylewicz, U., & Rocculi, P. (2021). Modelling the mechanical properties and sorption behaviour of pulsed electric fields (ИЭП) treated carrots and potatoes after air drying for food chain management. *Biosystems Engineering*, 223(Part B), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.09.011>
- Iranshahi, K., Psarianos, M., Rubinetti, D., Onwude, D. I., Schlüter, O. K., & Defraeye, T. (2023). Impact of pre-treatment methods on the drying kinetics, product quality, and energy consumption of electrohydrodynamic drying of biological materials. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103338. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103338>
- Jamil, Y. Perveen, R., Ashraf, M., Ali, Q., Iqba, M., & Ahmad, M. R. (2013). He-Ne laser induced changes in germination, thermodynamic parameters, internal energy and enzyme activities of wheat during germination and early growth physiological attributes. *Laser Physics Letters*, 10(4), 045606. <http://doi.org/10.1088/1612-2011/10/4/045606>
- Kalugina, O., Nafikova, A., Chernenkov, E., Leonova, S., Chernenkova A., Bodrov, A., & Badamshina, E. (2021). Application of ultrasound for enhancing fermentation rates in brewing technology. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 20(3), 301–312.
- Kanafusa, S., Maspero, U., Petersen, M. A., & Galindo, F. G. (2022). Influence of pulsed electric field-assisted dehydration on the volatile compounds of basil leaves. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102979. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102979>
- Karatas, O., Topcam, H., Altin, O., & Erdogdu, F. (2022). Computational study for microwave pasteurization of beer and hypothetical continuous flow system design. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102878. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102878>
- Karatas, O., Uyar, R., Berk, B., Mecit Oztop, H., Marra, F., & Erdogdu, F. (2023). Honey De-crystallization by radio frequency heating for process efficiency: Computational monitoring combined with time domain nuclear magnetic resonance. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103345. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103345>
- Kardos, T. J., & Rabussay, D. P. (2012). Contactless magneto-permeabilization for intracellular plasmid dna delivery in-vivo. *Human Vaccines & Immunotherapeutics*, 8(11), 1707–1713. <https://doi.org/10.4161/hv.21576>
- Karpenko, D., & Grishin A. (2024). Yeast activation methods used in fermentation industries. In A. Morata, I. Loira, C. González, & C. Escott (Eds.), *New Advances in Saccharomyces*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1003283>
- Katsimichas, A., Stathi, A., Dimopoulos, G., Giannakourou, M., & Taoukis, P. (2024). Kinetics of pulsed electric fields assisted pigment extraction from *Chlorella pyrenoidosa*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 91, 103547. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103547>
- Keyser, M., Muller, I. A., Cilliers, F., Nel, W., & Gouws, P. (2008). Ultraviolet radiation as a non-thermal treatment for the inactivation of microorganisms in fruit juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 9(3), 348–354. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2007.09.002>
- Kim, D. K., Shin, M., Kim, H. S., & Kang, D.-H. (2022). Inactivation efficacy of combination treatment of blue light-emitting diodes (LEDs) and riboflavin to control *E. coli* O157:H7 and *S. typhimurium* in apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103014. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103014>
- Kim, S.-Y., Jeong, U.-C., Ju, H.-I., Jeong, S., & Lee, D.-U. (2023). Effect of pulsed electric field pretreatment on mass transfer during hot air drying: Drying and rehydration properties of sweet potato. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103449. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103449>
- Kim, Y.-J., Lee, J.-I., & Kang, D.-H. (2023). Inactivation of foodborne pathogenic bacteria in water and stainless steel surfaces by vacuum-UV amalgam lamp and low-pressure mercury UV lamp irradiation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103297. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103297>
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., & Lee, D.-U. (2004). Applications and potential of ultrasonics in food processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15(5), 261–266. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.12.001>
- Köksel, H., Çelik, S., & Özkara, R. (1998). Effects of gamma irradiation on barley and malt on malting quality. *Journal of The Institute of Brewing*, 104(2), 89–92. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1998.tb00980.x>
- Kottapalli, B., Wolf-Hall, C. E., & Schwarz, P. (2006). Effect of electron-beam irradiation on the safety and quality of Fusarium-infected malting barley. *International journal of food microbiology*, 110(3), 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.04.007>
- Lakshmanan, S., Gupta, G. K., Avci, P., Chandran, R., Sadasivam, M., Jorge, A. E. S. & Hamblin, M. R. (2014). Physical energy for drug delivery; poration, concentration and activation. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 71, 98–114. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2013.05.010>
- Lan, M., Luo, D., Yue, C., Bai, Z., Li, P., & Wang, L. (2023). Ultrasound-assisted separation of wheat flour: Enhancing the degree of separation and characterization analysis.

- Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 90, 103493. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103493>
- Li, H., Wang, J., Wang, S., & Ling B. (2022). Performance evaluation of the double screw conveyor in radio frequency systems: Heating uniformity and quality of granular foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102990. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102990>
- Li, Q., Wang, Z., Kang, J., Wang, S., & Hou, L. (2023). Thermal behavior of CMC solutions under simulation of radio frequency pasteurization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103418. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103418>
- Li, X., Li, J., Wang, R., Rahaman, A., Zeng, X. A., & Brennan, C. S. (2021). Combined effects of pulsed electric field and ultrasound pretreatments on mass transfer and quality of mushrooms. *LWT*, 150, 112008. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112008>
- Li, Y., Zhang, S., Bao, Z., Sun, N., & Lin, S. (2022). Exploring the activation mechanism of alcalase activity with pulsed electric field treatment: Effects on enzyme activity, spatial conformation, molecular dynamics simulation and molecular docking parameters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102918. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102918>
- Liang, Z., Zhang, P., Ma, W., Zeng, X.-A., & Fang, Z. (2023). Pulsed electric field processing of green tea-infused chardonnay wine: Effects on physicochemical properties, antioxidant activities, phenolic and volatile compounds. *Food Bioscience*, 54, 102884. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102884>
- Lin, H., He, X., Liu, C., Meng, J., Guan, W., Hou, C., Zhang, C., & Wang, W. (2022). Static magnetic field-assisted supercooling preservation enhances water-holding capacity of beef during subzero storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103106. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103106>
- Lin, L., Wang, X., & Cui, H. (2019). Synergistic efficacy of pulsed magnetic fields and *Litsea cubeba* essential oil treatment against *Escherichia coli* o157:h7 in vegetable juices. *Food Control*, 106, 106686. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.06.012>
- Lin, L., Wang, X., He, R., & Cui, H. (2019). Action mechanism of pulsed magnetic field against *E. coli* o157:h7 and its application in vegetable juice. *Food Control*, 95, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.08.011>
- Liu, B., Jin, F., Li, Y., Wang, H., Chi, Y., Tian, D., & Feng, Z. (2022). Pasteurization of egg white by integrating ultrasound and microwave: Effect on structure and functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103063. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103063>
- Liu, D., Zhu, L., Guo, Y., Zhao, Y., Betchem, G., Yolandani, Y., & Ma, H. (2023). Enhancing submerged fermentation of *Antrodia camphorata* by low-frequency alternating magnetic field. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103382. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103382>
- Liu, Y., Huang, M., Liu, X., & Hu, M. (2023). Structural characterization and functional properties of egg white protein treated by electron beam irradiation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103262. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103262>
- Liu, Y., Qu, W., Feng, Y., & Ma, H. (2023). Fine physicochemical, structural, rheological and gelling properties of tomato pectin under infrared peeling technique. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103343. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103343>
- Llano, K. R. A., Marsellés-Fontanet, A. R., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2016). Impact of pulsed light treatments on antioxidant characteristics and quality attributes of fresh-cut apples. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 33, 206–215. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2015.10.021>
- Lotfi, M., Hamdami, N., Dalvi-Isfahan, M., & Fallah-Joshaqani, S. (2022). Effects of high voltage electric field on storage life and antioxidant capacity of whole pomegranate fruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102888. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102888>
- Lucas, J. R., Cárcel, J. A., Velasco, R., Benedito, J., & Cabeza, M. C. (2023). Modelling of the electron range for use of E-beam treatment for boned dry-cured hams sanitation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103296. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103296>
- Lucinskis, A., Novickij, V., Grainys, A., Novickij, J., & Tolvaisiene, A. (2014). Modelling the cell transmembrane potential dependence on the structure of the pulsed magnetic field coils. *Elektronika ir Elektrotechnika*, 20(8), 9–12. <https://doi.org/10.5755/j01.eee.20.8.8432>
- Luna-Domínguez, R. A., Hernández-Carranza, P., Ávila-Sosa, R., Valadez-Blanco, R., Ruiz-López, I. I., & Ochoa-Velasco, C. E. (2023). Enhancing gallic acid antimicrobial activity against *Escherichia coli* by ultraviolet-C light irradiation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103378. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103378>
- Lung, C. T., Chang, C. K., Cheng, F. C., Hou, C. Y., Chen, M. H., Santoso, S. P., Yudhistira, B., & Hsieh, C. W. (2022). Effects of pulsed electric field-assisted thawing on the characteristics and quality of Pekin duck meat. *Food Chemistry*, 390, 133137. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133137>
- Ma, S., Liu, J., Zhang, Q., Lin, Q., Liu, R., Xing, Y., Jiang, H. (2022). 3D printing performance using radio frequency electromagnetic wave modified potato starch. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103064. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103064>
- Mahendran, R., Ramanan, K. R., Barba, F. J., Lorenzo, J. M., López-Fernández, O., Munekata, P. E. S., Roohinejad, S., Sant'Ana, A. S., & Tiwari, B. K. (2019). Recent advances in the application of pulsed light processing for improving food safety and increasing shelf life. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 67–79. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.010>
- Mannozi, C., Fauster, T., Haas, K., Tylewicz, U., Romani, S., Rosa, M. D., & Jaeger, H. (2018). Role of thermal and electric field effects during the pre-treatment of fruit and vegetable mash by pulsed electric fields (PEF) and ohmic heating (OH). *Innovative Food Science & Emerging*

- Technologies*, 48, 131–137. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.06.004>
- Mannozi, C., Foligni, R., Mozzon, M., Aquilanti, L., Cesaro, C., Isidoro, N., Osimani, A. (2023). Nonthermal technologies affecting techno-functional properties of edible insect-derived proteins, lipids, and chitin: A literature review. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103453. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103453>
- Martínez, J. M., Delso, C., Aguilar, D., Cebrián, G., Álvarez, I., Raso, J. (2018). Factors influencing autolysis of *Saccharomyces cerevisiae* cells induced by pulsed electric fields. *Food Microbiology*, 73, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.12.008>
- Mekala, S., Silva, E. K., & Saldaña, M. D. A. (2022). Ultrasound-assisted production of emulsion-filled pectin hydrogels to encapsulate vitamin complex: Impact of the addition of xylooligosaccharides, ascorbic acid and supercritical CO<sub>2</sub> drying. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102907. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102907>
- Mercado-Sáenz, S., López-Díaz, B., Burgos-Molina, A. M., Sendra-Portero, F., González-Vidal, A. & Ruiz-Gómez, M. J. (2022). Exposure of *S. cerevisiae* to pulsed magnetic field during chronological aging could induce genomic DNA damage. *International Journal of Environmental Health Research*, 32(8), 1756–1767. <https://doi.org/10.1080/09603123.2021.1910212>
- Mfa Mezui, A., & Swart, P. (2010). Effect of UV-C disinfection of beer—sensory analyses and consumer ranking. *Journal of The Institute of Brewing*, 116(4), 348–353. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2010.tb00785.x>
- Miklavcic, D., Novickij, V., Kranjc, M., Polajzer, T., Haberl Meglic, S., Batista Napotnik, T., Romih, R., & Lisjak, D. (2020). Contactless electroporation induced by high intensity pulsed electromagnetic fields via distributed nanoelectrodes. *Bioelectrochemistry*, 132, 107440. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2019.107440>
- Milani, E. A., Ramsey, J. G., & Silva, F. V. M. (2016). High pressure processing and thermosonication of beer: Comparing the energy requirements and *Saccharomyces cerevisiae* ascospores inactivation with thermal processing and modeling. *Journal of Food Engineering*, 181, 35–41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.02.023>
- Milani, E. A., & Silva, F. V. M. (2017). Ultrasound assisted thermal pasteurization of beers with different alcohol levels: Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* ascospores. *Journal of Food Engineering*, 198, 45–53. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.11.015>
- Mo, Z., Liu, Q., Xie, W., Ashraf, U., Abrar, M., Pan, S., Duan, M., Tian, H., Wang, S., & Tang, X. (2020). Ultrasonic seed treatment and Cu application modulate photosynthesis, grain quality, and Cu concentrations in aromatic rice. *Photosynthetica*, 58, 682–691. <https://doi.org/10.32615/ps.2020.009>
- Mok, J. H., Her, J.-Y., Kang, T., Hoptowit, R., Jun, S. (2017). Effects of pulsed electric field (PEF) and oscillating magnetic field (OMF) combination technology on the extension of supercooling for chicken breasts. *Journal of Food Engineering*, 196, 27–35. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.10.002>
- Morais, A. T. B., Morais, S. T. B., Feitor, J. F., Cavalcante, K. N., Catunda, L. G. S., Walking-Ribeiro, M., Cardoso, D. R., Ahrné, L. M. (2023). Physico-chemical and structural modifications of caseins in micellar casein isolate induced by pulsed electric field. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103476. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103476>
- Morales-de la Peña, M., Arredondo-Ochoa, T., Welti-Chanes, J., Martín-Belloso, O. (2023). Application of moderate intensity pulsed electric fields in red prickly pears and soymilk to develop a plant-based beverage with potential health-related benefits. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103421. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103421>
- Mostafa, M. R., Ali, F. M., Balabel, N. M., & Mohamad, E. A. (2021). Electric pulses decrease the growth activity of *Erwinia amylovora* bacterium. *Journal of Biological Sciences*, 17(1), 261–270. <https://doi.org/10.21608/ajbs.2021.201678>
- Mousakhani-Ganjeh, A., Amiri, A., Nasrollahzadeh, F., Wiktor, A., Nilghaz, A., Pratap-Singh, A., & Mousavi Khaneghah, A. (2021). Electro-based technologies in food drying — A comprehensive review. *LWT*, 145, 111315. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111315>
- Müller, W. A., Sarkis, J. R., Marczak, L. D. F., & Muniz, A. R. (2022). Molecular dynamics study of the effects of static and oscillating electric fields in ovalbumin. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102911. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102911>
- Murdoch, M., Waser, A., Morantes, G., Dubovcova, B., Akepsimaidis, G., Currie, A., Pillai, S. D. (2022). A new proposed validation method for low energy electron beam processing of dry spices. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81, 103141. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103141>
- Neri, L., Giancaterino, M., Rocchi, R., Tylewicz, U., Valbonetti, L., Faieta, M., & Pittia, P. (2021). Pulsed electric fields (PEF) as hot air drying pre-treatment: Effect on quality and functional properties of saffron (*Crocus sativus* L.). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 67, 102592. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102592>
- Nguyen, C. H., Tikekar, R. H., Nitin, N. (2022). Combination of high-frequency ultrasound with propyl gallate for enhancing inactivation of bacteria in water and apple juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103149. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103149>
- Novickij, V., Dermol, J., Grainys, A., Kranjc, M., Miklavcic, D. (2017). Membrane permeabilization of mammalian cells using bursts of high magnetic field pulses. *PeerJ*, 5, e3267. <https://doi.org/10.7717/peerj.3267>
- Novickij, V., Grainys, A., Kučinskaitė-Kodžė, I., Žvirblienė, A., & Novickij, J. (2015). Magneto-permeabilization of viable cell membrane using high pulsed magnetic field. *IEEE Transactions on Magnetics*, 51(9), 1–5. <https://doi.org/10.1109/TMAG.2015.2439638>
- Novickij, V., Stanevičienė, R., Gruškienė, R., Badokas, K., Lukša, J., Sereikaitė, J., Mažeika, K., Višniakov, N., Novickij, J., Servienė, E. (2021). Inactivation of bacteria using bioactive nanoparticles and alternating magnetic

- fields. *Nanomaterials*, 11(2), 342. <https://doi.org/10.3390/nano11020342>
- Nowosad, K., Sujka, M., Pankiewicz, U., & Kowalski, R. (2021). The application of PEF technology in food processing and human nutrition. *Journal of Food Science and Technology*, 58(2), 397–411. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04512-4>
- Okonkwo, C. E., Moses, O. I., Nwonuma, C., Abiola, T., Benjamin, B. O., Folorunsho, J. O., Olaniran, A. F., & Pan, Z. (2022). Infrared and Microwave as a dry blanching tool for Irish potato: Product quality, cell integrity, and artificial neural networks (ANNs) modeling of enzyme inactivation kinetic. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103010. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103010>
- Okonkwo, C. E., Ojediran, J. O., Baribefe, A. V., Ajao, F., Pan, Z., Arotile, A., Emmanuel, C. C., & Ogamegbum, C. A. (2022). Microwave-assisted infrared dry-peeling of beetroot: Peeling performance, product quality, and cell integrity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102982. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102982>
- Oliveira, G. A. R., Guimarães, J. T., Ramos, G. L. P. A., Esmerino, E. A., Pimentel, T. C., Neto, R. P. C., Tavares, M. I. B., Sobral, L. A., Souto, F., Freitas, M. Q., Costa, L. E. O., & Cruz, A. G. (2022). Benefits of thermosonication in orange juice whey drink processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102876. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102876>
- Pang, J., Zhang, F., Wang, Z., Wu, Q., Liu, B., Meng, X. (2022). Inhibitory effect and mechanism of curcumin-based photodynamic inactivation on patulin secretion by *Penicillium expansum*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103078. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103078>
- Park, J.-S., Ha, J.-W. (2019). Ultrasound treatment combined with fumaric acid for inactivating food-borne pathogens in apple juice and its mechanisms. *Food Microbiology*, 84, 103277. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2019.103277>
- Pereira, S. G., Gomes-Dias, J. S., Pereira, R. N., Teixeira, J. A., & Rocha, C. M. R. (2023). Innovative processing technology in agar recovery: Combination of subcritical water extraction and moderate electric fields. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103306. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103306>
- Piyadasa, C., Yeager, T. R., Gray, S. R., Stewart, M. B., Ridgway, H. F., Pelekani, C., & Orbell, J. D. (2018). Antimicrobial effects of pulsed electromagnetic fields from commercially available water treatment devices – controlled studies under static and flow conditions. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 93(3), 871–877. <https://doi.org/10.1002/jctb.5442>
- Pihen, C., Mani-López, E., Franco-Vega, A., Jiménez-Munguía, M. T., López-Malo, A., & Ramírez-Corona, N. (2023). Performance of UV-LED and UV-C treatments for the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922 in food model solutions: Influence of optical and physical sample characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103314. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103314>
- Pintos, F., Rodoni, L., Patrignani, M., Ixtaina, P., Vicente, A., Martínez, G., & Hasperué, J. (2023). Advances in the use of white light on broccoli and kale postharvest shelf life. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103373. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103373>
- Pizarro-Oteiza, S. & Salazar, F. (2022). Effect of UV-LED irradiation processing on pectolytic activity and quality in tomato (*Solanum lycopersicum*) juice. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103097. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103097>
- Polachini, T. G., Norwood, E.-A., Le-Bail, P., Le-Bail, A., & Cárcel, J. A. (2023). Pulsed electric field (PEF) application on wheat malting process: Effect on hydration kinetics, germination and amylase expression. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103375. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103375>
- Psarianos, M., Dimopoulos, G., Ojha, S., Cavini, A. C. M., Bußler, S., Taoukis, P., & Schlüter, O. K. (2022). Effect of pulsed electric fields on cricket (*Acheta domesticus*) flour: Extraction yield (protein, fat and chitin) and techno-functional properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102908. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102908>
- Qian, J., Zhou, C., Ma, H., Li, S., Yagoub, A. E. A., & Abdualrahman, M. A. Y. (2016). Biological effect and inactivation mechanism of *Bacillus subtilis* exposed to pulsed magnetic field: Morphology, membrane permeability and intracellular contents. *Food Biophysics*, 11(4), 429–435. <https://doi.org/10.1007/s11483-016-9442-7>
- Qin, S., Zhou, M., Wang, Z., Li P., Huang, S., & Meng, J. (2023). Effect of pulsed electric field on spore germination rate and enzyme activity of *Aspergillus niger*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103473. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103473>
- Quiroz-Reyes, C. N., & Aguilar-Méndez, M. Á. (2022). Continuous ultrasound and pulsed ultrasound: Selective extraction tools to obtain enriched antioxidants extracts from cocoa beans (*Theobroma cacao* L.). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103095. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103095>
- Rahman, M. M., Hojilla-Evangelista, M. P., & Lamsal, B. P. (2022). Impact of high-power sonication on yield, molecular structure, and functional properties of soy protein isolate. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103034. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103034>
- Ricós-Muñoz, N., Soler, A. R., Castagnini, J. M., Moral, R., Barba, F. J., & Pina-Pérez, M. C. (2023). Improvement of the probiotic growth-stimulating capacity of microalgae extracts by pulsed electric fields treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103256. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103256>
- Rios-Corripio, G., Morales-de la Peña, M., Welti-Chanes, J., & Guerrero-Beltrán, J. A. (2022). Pulsed electric field processing of a pomegranate (*Punica granatum* L.) fermented beverage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103045. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103045>

- Robin, A., Ghosh, S., Gabay, B., Levkov, K., & Golberg, A. (2022). Identifying critical parameters for extraction of carnosine and anserine from chicken meat with high voltage pulsed electric fields and water. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102937. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102937>
- Rodríguez-Bencomo, J. J., Sanchis, V., Viñas, I., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2020). Formation of patulin-glutathione conjugates induced by pulsed light: A tentative strategy for patulin degradation in apple juices. *Food Chemistry*, 315, 126283. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126283>
- Rosa, D. A., de Toledo Guimarães, J., Cabral, L. A., Silva, M. C., Raices, R. S. L., Ramos, G. L. P. A., Pimentel, T. C., Esmerino, E. A., da Cruz, A. G., & de Freitas, M. Q. (2023). Effect of ohmic heating temperature and voltage on liquid whole egg processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103490. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103490>
- Sagita, D., Setiaboma, W., Kristanti, D., Kurniawan, Y. R., Hidayat, D. D., Darmajana, D. F., Sudaryanto, A., & Nugroho, P. (2022). Experimental investigation of heating pattern, energy requirement and electrical conductivity in a batch ohmic heating system for coffee fermentation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102946. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102946>
- Samaranayake, C. P., Mok, J. H. Heskitt, B. F., & Sastry, S. K. (2022). Nonthermal inactivation of polyphenol oxidase in apple juice influenced by moderate electric fields: Effects of periodic on-off and constant exposure electrical treatments. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102955. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102955>
- Shamsudin, R., Noranizan, M. A., Yap, P. Y., & Mansor, A. (2014). Effect of repetitive ultraviolet irradiation on the physico-chemical properties and microbial stability of pineapple juice. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 23, 114–120. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.02.005>
- Shankayi, Z., Firoozabadi, S. M. P., & Mansurian, M. G. (2013). The effect of pulsed magnetic field on the molecular uptake and medium conductivity of leukemia cell. *Cell Biochemistry and Biophysics*, 65, 211–216. <https://doi.org/10.1007/s12013-012-9422-6>
- Sharma, M., & Dash, K. K. (2022). Microwave and ultrasound assisted extraction of phytochemicals from black jamun pulp: Kinetic and thermodynamics characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102913. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102913>
- Sharma, N., Mitali Madhumita, S., Kumar, Y., & Prabhakar, P. K. (2023). Ultrasonic modulated rice bran protein concentrate: Induced effects on morphological, functional, rheological, and thermal characteristics. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103332. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103332>
- Shorstkii, I., Sosnin, M., Smetana, S., Toepfl, S., Parniakov, O., & Wiktor, A. (2022). Correlation of the cell disintegration index with Luikov's heat and mass transfer parameters for drying of pulsed electric field (PEF) pretreated plant materials. *Journal of Food Engineering*, 316, 110822. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110822>
- Schmidt, F., Graf, B., Hinrichs, J., & Kern, C. (2022). Continuous microwave-assisted extrusion for high moisture texturized foods: A feasibility study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103020. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103020>
- Sneha K., & Kumar, A. (2022). Nanoemulsions: Techniques for the preparation and the recent advances in their food applications. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102914. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102914>
- Son, E., Coskun, E., Ozturk, S., Bulduk, K., Akpınar, M., Mert, B., & Erdogdu, F. (2022). Microwave decontamination process for hummus: A computational study with experimental validation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103162. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103162>
- Souza, V. R., Illera, A. E., Keener, K. M. (2022). High voltage atmospheric cold plasma technology as a food safety intervention for decontamination of cutting tools during ready-to-eat poultry meat slicing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103065. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103065>
- Sousa, V., Loureiro, L., Carvalho, G., Pereira, R. N. (2022). Extraction of biomolecules from *Coelastrella* sp. LRF1 biomass using Ohmic Heating technology. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103059. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103059>
- Sulaiman, A., Soo, M. J., Farid, M., & Silva, F. V. M. (2015). Thermosonication for polyphenoloxidase inactivation in fruits: Modeling the ultrasound and thermal kinetics in pear, apple and strawberry purees at different temperatures. *Journal of Food Engineering*, 165, 133–140. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.06.020>
- Sulaimana, A. S., Chang, C.-K., Hou, C.-Y., Yudhistira, B., Punthi, F., Lung, C.-T., Cheng, K.-C., Santoso, S. P., & Hsieh, C.-W. (2021). Effect of oxidative stress on physicochemical quality of Taiwanese seagrape (*Caulerpa lentillifera*) with the application of alternating current electric field (ACEF) during post-harvest storage. *Processes*, 9(6), 1011. <https://doi.org/10.3390/pr9061011>
- Steinbruch, E., Wise, J., Levkov, K., Chemodanov, A., Israel, Á., Livney, Y. D., & Golberg, A. (2023). Enzymatic cell wall degradation combined with pulsed electric fields increases yields of water-soluble-protein extraction from the green marine macroalga *Ulva* sp. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103231. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103231>
- Sun, T., & Ling, F. (2021). Optimization method of microwave drying process parameters for rice. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 13(3), 10–20. <https://doi.org/10.15586/qas.v13i3.917>
- Taha, A., Casanova, F., Šimonis, P., Jonikaitė-Švėgždienė, J., Jurkūnas, M., Gomaa, M. A. E., Stirkė, A. (2022). Pulsed electric field-assisted glycation of bovine serum albumin/starch conjugates improved their emulsifying properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103190. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103190>

- Tamborrino, A., Mescia, L., Taticchi, A., Berardi, A., Lamacchia, C. M., Leone, A., Maurizio Servili, M. (2022). Continuous pulsed electric field pilot plant for olive oil extraction process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103192. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103192>
- Tang, J., Shao, S., Tian, C. (2020). Effects of the magnetic field on the freezing process of blueberry. *International Journal of Refrigeration*, 113, 288–295. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.12.022>
- Thongkong, S., Yawootti, A., Klangpetch, W., Fashakin, O. O., Tangjaidee, P., Rawdkuen, S., & Phongthai, S. (2023). A novel application of pulsed electric field as a key process for quick-cooking rice production. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 90, 103494. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103494>
- Topcam, H., Coskun, E., Son, E., Kutuk, D., Aykut Aytac, S., Mert, B., Ozturk, S., & Erdogdu, F. (2023). Microwave decontamination processing of tahini and process design considerations using a computational approach. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103377. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103377>
- Towhidi, L., Firoozabadi, S., Mozdarani, H., & Miklavcic, D. (2012). Lucifer yellow uptake by CHO cells exposed to magnetic and electric pulses. *Radiology and Oncology*, 46(2), 119–125. <https://doi.org/10.2478/v10019-012-0014-2>
- Tylewicz, U., Mannozi, C., Castagnini, J. M., Genovese, J., Romani, S., Rocculi, P., & Rosa, M. D. (2022). Application of PEF- and OD-assisted drying for kiwifruit waste valorisation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102952. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102952>
- Urugo, M. M., Teka, T. A., Berihune, R. A., Teferi, S. L., Garbaba, C. A., Adebo, J. A., Woldemariam, H. W., Astatkie, T. (2023). Novel non-thermal food processing techniques and their mechanism of action in mycotoxins decontamination of foods. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103312. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103312>
- Viriot, M., Jean-Claude, A., Niclaude, M., Bazard, D., Flayeux, R. & Moll, M. (1980). Improvement of the bitterness of hops: Photoreactions of alpha acids. *Journal of the Institute of Brewing*, 86(1), 21–24. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1980.tb03949.x>
- Wang, L., Liu, X., Cai, R., Ge, Q., Zhao, Z., Yue, T., Yuan, Y., Gao, Z., & Wang, Z. (2022). Detoxification of Ochratoxin A by pulsed light in grape juice and evaluation of its degradation products and safety. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103024. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103024>
- Wang, S., Xie, Y., Ding, Y., Huo, Z., Li, J., Song, J., Huo, Y., Zhao, L., Zhang, J., Wang, S., Zhang, J., & Ge, W. (2023). Fibrillation of whey protein isolate by radio frequency heating for process efficiency: Assembly behavior, structural characteristics, and in-vitro digestion. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103436. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103436>
- Wen, C., Chen, Y., Madina, Zhang, L., Peng, Y., Rong, B., Xi, L., Jiang, S., Yu, J., Bai, J., Wei, N., Kui, L., & Ding, W. (2023). Identification and characterization of goat milk key flavor compounds and their precursors in electron beam irradiation and pasteurization on raw. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103416. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103416>
- Wiktor, A., Mandal, R., Singh, A., & Pratap Singh, A. (2019). Pulsed light treatment below a critical fluence (3.82 J/cm<sup>2</sup>) minimizes photo-degradation and browning of a model phenolic (gallic acid) solution. *Foods*, 8(9), 380. <https://doi.org/10.3390/foods8090380>
- Włodarczyk, K., Czaplicki, S., Tańska, M., & Szydłowska-Czerniak, A. (2023). Microwave pre-treatment as a promising strategy to develop functional milk alternatives obtained from oil industry by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103443. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103443>
- Wu, B., Ma, Y., Guo, X., Guo, E., Qiu, C., Gao, K., Ma, H., & Pan, Z. (2023). Catalytic infrared blanching and drying of carrot slices with different thicknesses: Effects on surface dynamic crusting and quality characterization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103444. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103444>
- Wu, P., Qu, W., Abdualrahman, M. A. Y., Guo, Y., Xu, K., & Ma, H. (2017). Study on inactivation mechanisms of *Listeria grayi* affected by pulse magnetic field via morphological structure, Ca<sup>2+</sup> transmembrane transport and proteomic analysis. *International Journal of Food Science & Technology*, 52(9), 2049–2057. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13483>
- Wu, X., Zhao, W., Wang, X., Bai, Z., & Ma, L. (2023). A novel variable power microwave (VPM) drying technology for lowering energy consumption and improving the in vitro protein digestibility of black soldier fly larvae. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103470. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103470>
- Wu, Y., Qin, S., Zang, Y., Zhou, M., Chen, S., & Huang, S. (2023). Numerical study of the effects of pulsed electric field on  $\beta$ -casein. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103484. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103484>
- van Wyk, S., Silva, F. V. M., Farid, M. M. (2019). Pulsed electric field treatment of red wine: Inactivation of *Brettanomyces* and potential hazard caused by metal ion dissolution. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 57–65. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.11.001>
- Xu, B., Feng, M., Chitrakar, B., Cheng, J., Wei, B., Wang, B., Zhou, C., & Ma, H. (2023). Multi-frequency power thermosonication treatments of clear strawberry juice: Impact on color, bioactive compounds, flavor volatiles, microbial and polyphenol oxidase inactivation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103295. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103295>
- Xue, H., Wang, W., Wu, J., Xie, K., Ge, S., & Tan, J. (2024). Ultrasound assisted aqueous two-phase extraction of polysaccharides from corn stigma: Process optimization, structure characterization, and immunomodulatory activity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 91, 103531. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103531>
- Yaldagard, M., Mortazavi, S., & Tabatabaie, F. (2008). Application of ultrasonic waves as a priming technique

- for accelerating and enhancing the germination of barley seed: Optimization of method by the Taguchi approach. *Journal of the Institute of Brewing*, 114(1), 14–21. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2008.tb00300.x>
- Yamakage, K., Yamada, T., Takahashi, K., Takaki, K., Komuro, M., Sasaki, K., Aoki, H., Kamagata, J., Koide, S., & Orikasa, T. (2021). Impact of pre-treatment with pulsed electric field on drying rate and changes in spinach quality during hot air drying. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 68, 102615. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102615>
- Yang, Y., Shen, H., Tian, Y., You, Z., & Guo, Y. (2019). Effect of thermal pasteurization and ultraviolet treatment on the quality parameters of not-from-concentrate apple juice from different varieties. *CyTA – Journal of Food*, 17(1), 189–198. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1569725>
- Ye, L., Niu, Y., Wang, Y., Shi, Y., Liu, Y., Yu, J., Bai, J. & Luo, A. (2023). Effect of X-ray irradiation on quality, cell ultrastructure and electrical parameters of postharvest kiwifruit. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103483. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103483>
- Yin, H., Hao, J., Zhu, Y., Li, Y., Wang, F., & Deng, Y. (2019). Thermosonication and inactivation of viable putative non-culturable *Lactobacillus acetotolerans* in beer. *Journal of The Institute of Brewing*, 125(1), 75–82. <https://doi.org/10.1002/jib.541>
- Yang, H., Sun, M., Yan, B., Zhang, N., Zhao, J., Zhang, H., Chen, W., & Fan, D. (2023). Continuous flow microwave processing of liquid whole egg: Pasteurization and functional characteristics evaluation. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 90, 103495. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103495>
- Younis, M., Ahmed, I. A. M., Ahmed, K. A., Yehia, H. M., Abdelkarim, D.O., Fickak, A., El-Abedein, A. I. Z., Alhamdan, A., & Elfeky, A. (2023). Pulsed electric field as a novel technology for fresh Barhi date shelf-life extension: Process optimization using response surface methodology. *Horticulturae*, 9(2), 155. <https://doi.org/10.3390/horticulturae9020155>
- Zhang, L., Yang, Z., Zhao, S., Luo, N., & Deng, Q. (2020). Effect of combined pulsed magnetic field and cold water shock treatment on the preservation of cucumbers during postharvest storage. *Food and Bioprocess Technology*, 13(4), 732–738. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02425-w>
- Zhang, M., Feng, X., Liang, Y., He, M., Geng, M., Huang, Y., Teng, F., & Li, Y. (2022). Effects of electron beam irradiation pretreatment on the structural and functional properties of okara protein. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103049. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103049>
- Zhang, S., Sun, L., Ju, H., Bao, Z., Zeng, X., & Lin, S. (2021). Research advances and application of pulsed electric field on proteins and peptides in food. *Food Research International*, 139(1), 109914. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109914>
- Zhang, X., Zhang, M., Law, C. L., Guo, Z. (2022). High-voltage electrostatic field-assisted modified atmosphere packaging for long-term storage of pakchoi and avoidance of off-flavors. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103032. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103032>
- Zhang, Y., Wang, R., Wen, Q.-H., Rahaman, A., Zeng, X.-A. (2022). Effects of pulsed electric field pretreatment on mass transfer and quality of beef during marination process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103061. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103061>
- Zhao, L., Poh, C. N., Wu, J., Zhao, X., He, Y., & Yang, H. (2022). Effects of electrolysed water combined with ultrasound on inactivation kinetics and metabolite profiles of *Escherichia coli* biofilms on food contact surface. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102917. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102917>
- Zhou, D., Yang, G., Xu, J., Ling, B., & Wang, S. (2023). Non-thermal effect of radio frequency treatments verified by the multi-scale structure and in-vitro digestibility of sweet potato starch. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103412. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103412>
- Zhou, J., Wang, M., Barba, F. J., Zhu, Z., & Grimi, N. (2023). A combined ultrasound + membrane ultrafiltration (USN-UF) process for enhancing saccharides separation from *Spirulina* (*Arthrospira platensis*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103341. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103341>
- Zhou, X., Wu, Y., Wang, Y., Zhou, X., Chen, X., Xi, J. (2022). An efficient approach for the extraction of anthocyanins from *Lycium ruthenicum* using semi-continuous liquid phase pulsed electrical discharge system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103099. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103099>
- Zhu, H., Shu, W., Xu, C., Yang, Y., Huang, K., & Ye, J. (2022). Novel electromagnetic-black-hole-based high-efficiency single-mode microwave liquid-phase food heating system. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103012. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103012>
- Zhu, R., Jiang, S., Li, D., Law, C. L., Han, Y., Tao, Y., Kiani, H., & Liu, D. (2022). Dehydration of apple slices by sequential drying pretreatments and airborne ultrasound-assisted air drying: Study on mass transfer, profiles of phenolics and organic acids and PPO activity. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102871. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102871>
- Zhu, R., Shen, J., Law, C. L., Ma, X., Li, D., Han, Y., Kiani, H., Manickam, S., & Tao, Y. (2023). Combined calcium pretreatment and ultrasonic/microwave drying to dehydrate black chokeberry: Novel mass transfer modeling and metabolic pathways of polyphenols. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103215. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103215>
- Zuo, Y., Zhou, B., Wang, S., & Hou, L. (2022). Heating uniformity in radio frequency treated walnut kernels with different size and density. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102899. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102899>

# Сравнительный анализ скисания молока методами отражательной инфракрасной спектроскопии

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ, г. Москва, Российская Федерация

М. В. Беляков

**КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:**  
Михаил Владимирович Беляков  
E-mail: bmw20100@mail.ru

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:**  
Беляков, М. В. (2024). Сравнительный анализ скисания молока методами отражательной инфракрасной спектроскопии. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 82-91. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.554>

**ПОСТУПИЛА:** 03.03.2024  
**ДОРАБОТАНА:** 12.08.2024  
**ПРИНЯТА:** 15.09.2024  
**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.09.2024

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



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Для повышения эффективности и конкурентоспособности молочнохозяйственной отрасли важным является контроль качества молочной продукции. Инфракрасная спектроскопия демонстрирует значительный потенциал для ее применения при измерении состава, обнаружении фальсификаций, контроля при технологических процессах. Вместе с тем, отсутствуют сведения о применении ИК-методов для анализа скисания молока при хранении и переработке.

**Цель:** изучение оптических свойств в инфракрасном спектре молока при скисании для обоснования выбора спектрального диапазона и наиболее информативных параметров контроля в процессе хранения и переработки.

**Материалы и методы:** Для спектральных измерений использовалось питьевое пастеризованное молоко с массовой долей жира 4,01%, белка 3,37%, лактозы 4,94%. Производили измерения спектральных характеристик отражения и поглощения  $\alpha(\lambda)$  в диапазонах 400–2500 нм и 2,5–18,0 мкм по общепринятой методике.

**Результаты:** В ближней ИК-области имеются максимумы поглощения на длинах волн примерно 980 нм, 1200 нм, 1455 нм, 1930 нм. Интегральные коэффициенты поглощения, рассчитанные как во всем спектре, так и в областях максимумов незначительно (менее 10%) и несистемно меняются при увеличении кислотности в 6 раз в процессе скисания. Статистические параметры также меняются незначительно и несистемно. Все спектральные кривые имеют выраженную левостороннюю асимметрию и умеренную плосковершинность. В спектре средневолнового поглощения имеется единственный максимум примерно на 9400 нм в области 8000–12500 нм. Зависимость коэффициента поглощения от кислотности в области 8000–12500 нм являются возрастающей и может быть статистически достоверно аппроксимирована. Статистические параметры при изменении кислотности в среднем ИК диапазоне меняются несистемно. Все спектры имеют правостороннюю асимметрию и выраженную плосковершинность.

**Выводы:** Контроль кислотности молока в процессе хранения и переработки при скисании наиболее целесообразно осуществлять по поглощению в среднем ИК диапазоне, причем наиболее информативная область спектра 8–12,5 мкм. Статистические параметры спектров поглощения молока как в ближнем, так и в среднем инфракрасном диапазоне меняются несистемно и, зачастую, незначительно. Все спектры являются плосковершинными, в ближнем ИК диапазоне они имеют левостороннюю, а в средней ИК области – правостороннюю асимметрию.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

молоко; кислотность; спектр отражения молока; спектр поглощения молока; ближний инфракрасный диапазон; средний инфракрасный диапазон

# Wave and Field Influences in Food Technologies: A Scoping Review

Federal Scientific Agroengineering  
Center VIM, Moscow, Russian Federation

Mikhail V. Belyakov

## CORRESPONDENCE:

Mikhail V. Belyakov

E-mail: [bmw20100@mail.ru](mailto:bmw20100@mail.ru)

## FOR CITATIONS:

Belyakov, M. V. (2024). Comparative Analysis of milk souring by reflective infrared spectroscopy. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 82-91. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.554>

RECEIVED: 03.03.2024

REVISED: 12.08.2024

ACCEPTED: 15.09.2024

PUBLISHED: 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** To improve the efficiency and competitiveness of the dairy industry, it is important to control the quality of dairy products. Infrared (IR) spectroscopy demonstrates significant potential for its application in composition measurement, detection of falsifications, and control in technological processes. At the same time, there is no information on the use of IR methods for the analysis of milk souring during storage and processing.

**Purpose:** To study optical properties in the infrared spectrum of milk during souring to justify the choice of the spectral range and the most informative control parameters during storage and processing.

**Materials and Methods:** For measurements, drinking pasteurized milk with a mass fraction of 4.01 % fat, 3.37 % protein, and 4.94 % lactose was taken. The spectral characteristics of reflectance and absorption  $\alpha(\lambda)$  were measured in the ranges of 400–2500 nm and 2.5–18.0 microns according to the generally accepted method.

**Results:** In the near-infrared region, there are absorption maxima at wavelengths of approximately 980 nm, 1200 nm, 1455 nm, and 1930 nm. The integral absorption coefficients calculated both in the entire spectrum and in the maximum regions vary slightly (less than 10 %) and non-systematically with an increase in acidity by 6 times during the souring process. Statistical parameters also change slightly and non-systematically. All spectral curves have pronounced left-sided asymmetry and moderate flatness. In the medium-wave absorption spectrum, there is a single maximum at about 9400 nm in the 8000–12500 nm region. The dependence of the absorption coefficient on acidity in the range of 8000–12500 nm is increasing and can be approximated with statistical validity. Statistical parameters do not change systematically with changes in acidity in the mid-IR range. All spectra have right-sided asymmetry and pronounced flatness.

**Conclusion:** It is most advisable to control the acidity of milk during storage and processing at souring by absorption in the middle IR range, the most informative spectral region being 8–12.5 microns. The statistical parameters of the absorption spectra of milk in both the near and middle infrared ranges vary non-systematically and, often, insignificantly. All spectra are flat-topped, in the near-IR range they have left-sided, and in the middle IR region they have right-sided asymmetry.

## KEYWORDS

milk; acidity; milk reflectance spectrum; milk absorption spectrum; near infrared range; mid infrared range

## ВВЕДЕНИЕ

Перспективным направлением повышения эффективности и конкурентоспособности молочной хозяйственной отрасли является проведение модернизации молочных ферм — технологическое перевооружение с использованием инновационных технологий и технических средств, обеспечение экологической безопасности и безопасных условий труда (Иванов, 2022). Важным здесь является контроль качества молочной продукции. Среди современных методов контроля распространены химические (Топникова и соавт., 2023), высокоэффективная жидкостная хроматография (Святкина & Андрухова, 2009), масс-спектрометрия (Хуршудян и соавт., 2020), капиллярный электрофорез (Мельденберг и соавт., 2020).

Среди оптико-физических методов выделяются колориметрия (Buzdar et al., 2023), флуоресцентная и инфракрасная (ИК) спектроскопия. Метод флуоресцентной спектроскопии применяется для получения информации о свойствах и качестве термически обработанного молока посредством одновременного определения содержания фуруозина и лактулозы (Кулмырзаев & Мачихин, 2007). Метод, основанный на волоконно-оптической регистрации спектров флуоресценции при лазерном ультрафиолетовом возбуждении разработан для анализа молока и пахты с различной долей жира (Лукашенко, 2014). Также метод флуоресцентной диагностики применялся для оценки кислотности молока (Беляков и соавт., 2023) и наличия антибиотиков (Самарин и др., 2024). Метод также может быть использован для диагностики молочных продуктов: творога, сметаны, масла (Беляков & Никитин, 2023).

Спектроскопия среднего ИК-диапазона используется для прогнозирования содержания кальция и фосфора, титруемой кислотности молока (Toffanin et al., 2015). С помощью ИК-спектроскопии оценивали импульсную электронно-пучковую и термическую обработку молока и молочной сыворотки (Хамнаева и соавт., 2009). ИК-анализ может быть использован для прогнозирования стабильности систем концентрированного молока при последующей переработке (Markoska et al., 2019). Инфракрасные анализаторы молока применяются для получения концентраций азота мочевины в молоке (Portnoy et al., 2021).

Спектроскопия ближнего инфракрасного диапазона используется для прогнозирования содержания белка в молоке (Wang et al., 2019). Из-за изменений в структуре белка и взаимодействия во время обработки и хранения ультрапастеризованного молока изменения ИК-спектров хорошо коррелируют с образованием осадка (нестабильностью при хранении) во время хранения (Grewal et al., 2018). Инфракрасная спектроскопия с преобразованием Фурье применялась для идентификации  $\beta$ -казеина в молоке (Daniloski et al., 2022). Curren et al. (2017) оценили возможности использования спектроскопии пропускания в ближнем инфракрасном диапазоне для прогнозирования зрелости сыра.

Инфракрасная спектроскопия демонстрирует значительный потенциал для обнаружения фальсификации в пищевых добавках и высокую точность для одновременного прогнозирования содержания белка и массы добавленных белкового концентрата и молочной сыворотки (Andrade et al., 2019). Исследованы возможности для быстрого обнаружения фальсификации молочного жира в йогуртах (Temizkan et al., 2020), для определения фальсификации сыров с более высоким содержанием добавок, чем разрешенные (целлюлоза и диоксид кремния), и неаутентичных веществ, используемых для увеличения веса и объема, таких как пшеничная мука, манная крупа и опилки (Visconti et al., 2020). Вместе с тем, не изучено влияние скисания молока на его оптические свойства в инфракрасном диапазоне и открывающиеся в связи с этим возможности экспрессного неразрушающего контроля качества молока при его хранении и переработке.

Целью данного исследования является изучение оптических свойств в инфракрасном спектре молока при скисании для обоснования выбора спектрального диапазона и наиболее информативных параметров контроля в процессе хранения и переработки. Задачами являются измерение спектральных характеристик отражения и поглощения для определения рабочих диапазонов спектров. Рассчитаны интегральные и статистические параметры спектров для сравнительной оценки в ближней и средней инфракрасной области.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

Для спектральных измерений использовалось питьевое пастеризованное молоко производителя «Мичурино» (Тамбовская область) с массовой долей жира 4,01 %, белка 3,37 %, лактозы 4,94 %. В процессе трехдневного скисания молоко хранилось в темном помещении при комнатной температуре 20°C.

### Оборудование

Измерения спектров отражения в ближнем инфракрасном диапазоне проводили на приборе Foss NIRS 2500 (Foss, Дания). Внешний вид представлен на Рисунок 1.

Прибор позволяет выполнять спектральные измерения в диапазоне 400–2500 нм, спектральное разрешение 0,5 нм.

Измерения спектров поглощения в среднем инфракрасном диапазоне проводили с использованием

#### Рисунок 1

Внешний вид прибора Foss NIRS 2500

#### Figure 1

External View of the Foss NIRS 2500 device



#### Рисунок 2

Внешний вид Фурье-спектрометра ФТ-801

#### Figure 2

External View of the FT-801 Fourier Spectrometer



Фурье-спектрометра ФТ-801 (Симекс, Россия) с микроскопом МИКРАН-3 (Рисунок 2).

Спектральный диапазон прибора 470–5700 см<sup>-1</sup> (1,75–21,3 мкм), разрешение 2 см<sup>-1</sup>.

Повторность измерений — десятикратная. Первичная обработка спектров производилась в фирменном программном обеспечении компании Симекс ZaIR 3.5.

### Инструменты

Все спектры были скорректированы на инструментальные искажения с помощью встроенных программных пакетов. В них же на основе спектров отражения получены спектры поглощения. Математическая обработка велась в Microsoft Excel, Origin 8 Pro с применением алгоритма Савицкого-Голея.

### Методы

Кислотность молока контролировали титриметрическим методом.

Производили измерения спектральных характеристик отражения и поглощения  $\alpha(\lambda)$  в диапазонах 400–2500 нм и 2,5–18,0 мкм по общепринятой

методике: из широкоспектрального источника излучения с помощью монохроматора выделялся узкий спектральный диапазон излучения и оно направлялось на исследуемое молоко, затем приемником излучения регистрировался световой поток отраженного излучения и вычислялась доля поглощенного излучения. Измерения проводились во всех вышеуказанных спектральных диапазонах ближней и средней инфракрасной области.

### Анализ данных

Были рассчитаны интегральные коэффициенты поглощения в спектральных областях  $\lambda_1 - \lambda_2$ :

$$A = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \alpha(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

$\alpha(\lambda)$  — спектральная характеристика поглощения,  $\lambda_1, \lambda_2$  — границы спектральной области.

Относительные погрешности  $\varepsilon$  определения коэффициента поглощения при многократных из-

мерениях ( $n = 10$ ) вычисляли по общепринятым формулам.

Для анализа использовали следующие, хорошо известные из математической статистики числовые параметры: математическое ожидание  $M\lambda$ , характеризующее положение «центра тяжести» спектра; дисперсия  $\sigma^2$ , характеризующая степень разбросанности относительно «центра тяжести»; асимметрия спектра  $As$ ; эксцесс  $Ex$ , дающий представление о степени островершинности или плосковершинности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

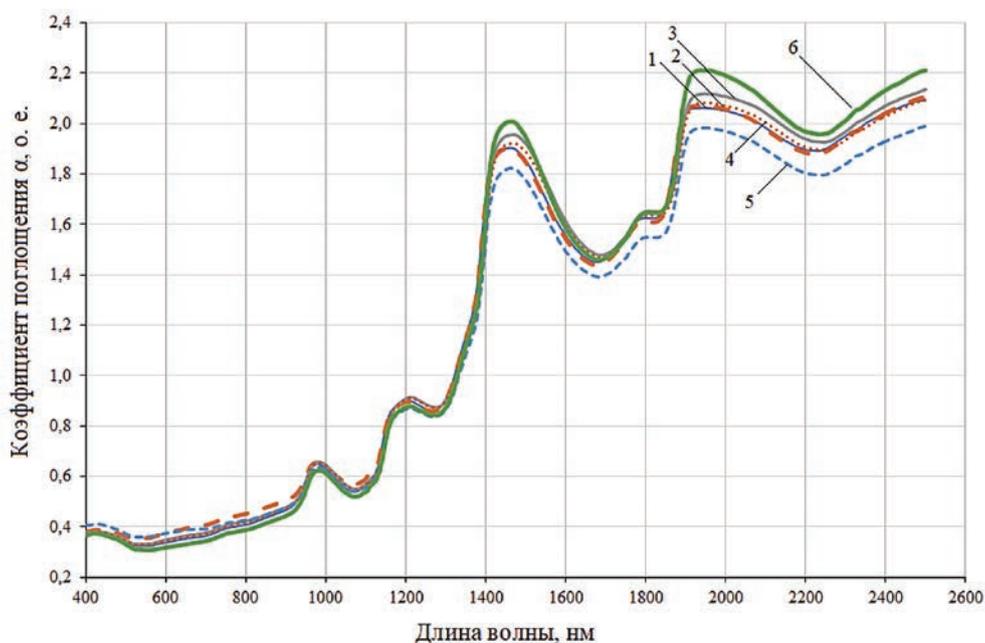
Полученные спектральные характеристики позволили выявить наиболее информативные спектральные диапазоны, где наиболее заметна временная динамика изменения оптических свойств молока в процессе его скисания. Спектры ближнего инфракрасного поглощения молока в процессе скисания представлены на Рисунке 3.

**Рисунок 3**

Спектры ближнего инфракрасного поглощения молока при скисании

**Figure 3**

Near-Infrared Absorption Spectra of Milk During Souring



Примечание. 1 — 0 часов, 2 — 5 часов, 3 — 23 часа, 4 — 30 часов, 5 — 46 часов, 6 — 52 часа после начала скисания

Note. 1 — 0 hours, 2 — 5 hours, 3 — 23 hours, 4 — 30 hours, 5 — 46 hours, 6 — 52 hours after the start of souring.

Рассчитанные интегральные и статистические параметры молока в ближнем ИК-диапазоне в различных спектральных областях  $\lambda_1$ - $\lambda_2$  представлены в Таблицах 1 и 2.

Спектры среднего инфракрасного поглощения молока в процессе скисания представлены на Рисунке 4.

**Таблица 1**

Интегральные параметры молока для спектральных областей ближнего инфракрасного диапазона

**Table 1**

Integral Parameters of Milk for the Spectral Regions of the Near-Infrared Range

Время скисания $t$ , часов	Кислотность $K$ , °Т	$\alpha$ , о. е., для диапазона, нм				
		900–1100	1125–1275	1360–1690	1840–2230	400–2500
0	17	113	127	547	769	2620
5	18	117	127	544	768	2634
23	23	114	127	558	783	2659
30	69	114	127	551	770	2624
46	99	112	122	520	732	2518
52	103	108	123	560	806	2671

**Таблица 2**

Статистические параметры молока в ближнем инфракрасном диапазоне

**Table 2**

Statistical Parameters of Milk in the Near-Infrared Range

Время скисания $t$ , часов	Кислотность $K$ , °Т	$M\lambda$	$\sigma^2$	$As$	$Ex$
0	17	1760	$2,54 \cdot 10^5$	-0,615	-0,318
5	18	1752	$2,61 \cdot 10^5$	-0,607	-0,363
23	23	1761	$2,54 \cdot 10^5$	-0,623	-0,307
30	69	1759	$2,54 \cdot 10^5$	-0,617	-0,313
46	99	1748	$2,64 \cdot 10^5$	-0,613	-0,351
52	103	1775	$2,48 \cdot 10^5$	-0,651	-0,235

**Таблица 3**

Интегральные и статистические параметры молока в среднем инфракрасном диапазоне

**Table 3**

Integral and Statistical Parameters of Milk in the Mid-Infrared Range

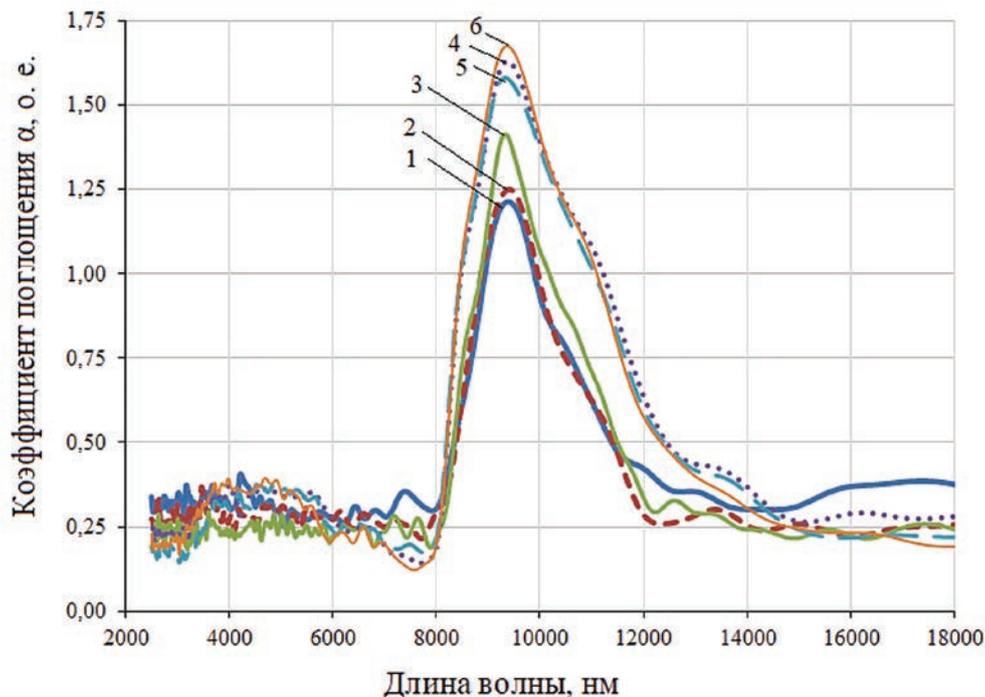
Время скисания $t$ , часов	Кислотность $K$ , °Т	$\alpha$ , о. е.	$M\lambda$	$\sigma^2$	$As$	$Ex$
0	17	3233	10,0	$1,23 \cdot 10^6$	0,384	-0,739
5	18	3190	9,9	$1,12 \cdot 10^6$	0,422	-0,640
23	23	3521	10,0	$1,11 \cdot 10^6$	0,409	-0,638
30	69	4826	10,1	$1,23 \cdot 10^6$	0,268	-0,581
46	99	4833	10,1	$1,24 \cdot 10^6$	0,292	-0,873
52	103	4853	10,0	$1,20 \cdot 10^6$	0,323	-0,806

**Рисунок 4**

Спектры среднего инфракрасного поглощения молока при скисании

**Figure 4**

Mid-Infrared Absorption Spectra of Milk during Souring



Примечание: 1 – 0 часов, 2 – 5 часов, 3 – 23 часа, 4 – 30 часов, 5 – 46 часов, 6 – 52 часа после начала скисания.

Note: 1 – 0 hours, 2 – 5 hours, 3 – 23 hours, 4 – 30 hours, 5 – 46 hours, 6 – 52 hours after the start of souring.

Рассчитанные интегральные и статистические параметры молока в среднем ИК-диапазоне в спектральной области 8–12,5 мкм представлены в Таблице 3.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В ближней ИК-области (Рисунок 3) вполне ожидаемо отмечены максимумы поглощения на длинах волн примерно 980 нм, 1200 нм, 1455 нм, 1930 нм. Полосы поглощения в ближней ИК-области широкие и перекрываются, что подтверждается более ранним исследованием сухого обезжиренного молока концентрата молочного белка и сывороточного белка (Pu et al., 2020). Полосы поглощения воды, обусловленные колебанием связей О–Н, находятся в области 1440–1470 нм и 1920–1940 нм (Manley, 2014). Полоса поглощения белка около 2172 нм может быть связана с комбинацией растяжения С–О,

изгиба NH и растяжения С–N (Manley, 2014). Полоса поглощения при 2274 нм, возможно, связана с колебанием С–Н и О–Н лактозы (Holroyd, 2013).

Сплошная составляющая характеристики отражения  $\alpha(\lambda)$  увеличивается с увеличением длины волны. Впервые установлено, что наибольшее различие при скисании имеется на длинноволновых пиках 1455 нм и 1930 нм. Интегральные коэффициенты поглощения, рассчитанные как во всем спектре, так и в областях максимумов незначительно (менее 10%) и несистемно меняются при увеличении кислотности в 6 раз в процессе скисания (Таблица 1). Статистические параметры также меняются незначительно (до 7,2%, кроме эксцесса) и несистемно (Таблица 2). Все спектральные кривые имеют выраженную левостороннюю асимметрию ( $As < 0$ ) и умеренную плосковершинность ( $Ex < 0$ ). Ранее статистические параметры спектров молока не анализировались.

В спектре средневолнового поглощения (Рисунок 4) имеется единственный максимум примерно на 9400 нм в области 8000–12500 нм. Область 2200–8000 нм имеет сильные шумы. Зависимость  $\alpha(K)$  в области 8000–12500 нм являются возрастающей и при линейной аппроксимации имеет коэффициент детерминации  $R^2=0,83$ . Вместе с тем, если использовать существенно более сложную аппроксимацию функцией Больцмана, то можно получить коэффициент детерминации 0,999. Статистические параметры (Таблица 3) при изменении кислотности, как и в ближнем ИК диапазоне меняются несистемно. Все спектры имеют правостороннюю асимметрию и выраженную плосковершинность.

Таким образом, общий вид спектров поглощения в инфракрасной области соответствует ранее полученным другими исследователями (Pu et al., 2020), но впервые установленная динамика их изменения при увеличении кислотности позволяет сделать вывод, что наиболее сильно свойства поглощения меняются в спектральном диапазоне 8000–12500 нм. При увеличении кислотности в основном меняются энергетические свойства поглощения, но не качественные параметры спектров. Эти количественные изменения можно объяснить зависимостью интенсивности фотосигнала от изменения концентрации отдельных веществ. Также наибольшая чувствительность поглощательной способности молока проявляется через 23–30 часов после начала скисания.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Беляков, М. В., & Никитин Е.А. (2023). Спектральные люминесцентные характеристики молока и молочных продуктов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (2), 90–102. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.412>
- Belyakov M.V., & Nikitin E.A. (2023) Comparative evaluation of spectral luminescent characteristics of milk and dairy products. *Storage and Processing of Farm Products*, (2), 90–102. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.412>
- Беляков, М. В., Самарин, Г. Н., Ефременков, И. Ю., & Кудрявцев, А. С. (2023). Люминесцентные свойства молока различной жирности при скисании. *Электро-технологии и электрооборудование в АПК*, 70(1), 37–44. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2023-70-1-37-44>
- Belyakov M.V., Samarin G.N., Efremenkov I.Yu., & Kudryavtsev A.S. (2023). Luminescent properties of milk of different fat content during souring. *Electrical technologies and electrical equipment in agriculture*, (70), 37–44. (In Russ.). <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2023-70-1-37-44>
- Иванов, Ю. А. (2022). Стратегические направления развития молочного скотоводства. *Техника и технологии в животноводстве*, 2(46), 18–23. <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-2-18>
- Ivanov Yu.A. Strategic directions of dairy cattle breeding development (2022). *Machinery and technologies in livestock*, 2(46), 18–23. (In Russ.). <https://doi.org/10.51794/27132064-2022-2-18>
- Кулмырзаев, А. А., & Мачихин, С. А. (2007). Применение флуоресцентной спектроскопии для оценки качества термически обработанного молока. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (12), 69–72.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованы оптические свойства в инфракрасном спектре молока при скисании и выбран спектральный диапазон и наиболее информативные параметры контроля в процессе хранения и переработки. Было выявлено, что при изменении кислотности молока наиболее сильно изменяются спектральные энергетические свойства поглощения. Статистические параметры спектров поглощения молока как в ближнем, так и в среднем инфракрасном диапазоне меняются несистемно и, зачастую, незначительно. Все спектры являются плосковершинными, в ближнем ИК диапазоне они имеют левостороннюю, а в средней ИК области — правостороннюю асимметрию. Полученные результаты свидетельствуют, что контроль кислотности молока в процессе хранения и переработки при скисании наиболее целесообразно осуществлять по поглощению в среднем ИК диапазоне, причем наиболее информативная область спектра 8–12,5 мкм.

Ограничением данного исследования является ограниченный спектральный диапазон измерений и ограничение изменения титруемой кислотности молока. Дальнейшим развитием результатов этого исследования является разработка инфракрасных приборов контроля кислотности молока в процессе его хранения и переработки. В целом, исследование подчеркивает значимость и потенциал применения спектроскопии инфракрасного диапазона для контроля параметров скисания молока.

- Kulmyrzaev, A. A., & Machikhin, S. A. (2007). The use of fluorescence spectroscopy to assess the quality of thermally processed milk. *Storage and Processing of Farm Products*, (12), 69–72. (In Russ.).
- Лукашенко, Е. И. (2014). Применение флуоресцентного метода для контроля качества. *Молочнохозяйственный вестник*, 1(13), 65–70.
- Lukashenko, E. I. (2014). The use of the fluorescent method for quality control. *Dairy Farming Bulletin*, (1), 65–70. (In Russ.).
- Мельденберг, Д. Н., Полякова, О. С., Семенова, Е. С., & Юрова, Е. А. (2020). Разработка комплексной оценки белкового состава молока сырья различных сельскохозяйственных животных для выработки продуктов функциональной направленности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 118–133. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.352>
- Meldenberg, D. N., Polyakova, O. S., Semenova, E. S., & Yurova, E. A. (2020). Development of a comprehensive assessment of the protein composition of milk of raw materials of various farm animals for the production of functional products. *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 118–133. (In Russ.). <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.352>
- Самарин, Г.Н., Беляков, М.В., Ефременков, И.Ю., & Ляшук, Ю.О. (2024). Обнаружение антибиотиков в молоке по его фотолюминесцентным свойствам. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*, 71(1), 10–16. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2024-71-1-10-16>.
- Samarin, G.N., Belyakov, M.V., Efremenkov, I.Yu., & Lyashchuk, Yu.O. (2024). Detection of antibiotics in milk by its photoluminescent properties. *Electrical technologies and electrical equipment in agriculture*, (71), 10–16. (In Russ.). <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2024-71-1-10-16>.
- Святкина, Л. И., & Андрухова, В. Я. (2009). Оценка подлинности продукции из коровьего молока методом газовой хроматографии. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (10), 20–23.
- Svyatkina, L. I., & Andrukhova, V. Ya. (2009). Assessment of the authenticity of cow's milk products by gas chromatography. *Storage and Processing of Farm Products*, (10), 20–23. (In Russ.).
- Топникова, Е. В., Новокшанова, А. Л., Пирогова Е. Н., & Рыжакина, Т. П. (2023). Оценка гигиенических и микробиологических рисков при переработке молока в России. *Молочнохозяйственный вестник*, 1(49), 193–214. [https://doi.org/10.52231/2225-4269\\_2023\\_1\\_193](https://doi.org/10.52231/2225-4269_2023_1_193)
- Topnikova, E. V., Novokshanova, A. L., Pirogova E. N., & Ryzhakina, T. P. (2023). Assessment of hygienic and microbiological risks in milk processing in Russia. *Dairy Bulletin*, (1), 193–214. (In Russ.). [https://doi.org/10.52231/2225-4269\\_2023\\_1\\_193](https://doi.org/10.52231/2225-4269_2023_1_193)
- Хамнаева, Н. И., Батуева, Д. М., & Данжеева, Э. К. (2009). Сравнительная оценка импульсной электронно-пучковой и термической обработок молока и молочной сыворотки с помощью ИК-спектроскопии. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (6), 21–23.
- Khamnaeva, N. I., Batueva, D. M., & Danzheeva, E. K. (2009). Comparative evaluation of pulsed electron beam and thermal treatment of milk and whey using IR spectroscopy. *Storage and Processing of Farm Products*, (6), 21–23. (In Russ.).
- Khurshudyan, S. A., Lazareva, E. G., Ryabova, A. E., & Mikhailova, I. Y. (2020). Analytical measurements in the examination of food products. *Product quality Control*, (6) 38–41. <https://doi.org/10.35400/2541-9900-2020-6-38-41> (In Russ.).
- Andrade, J., Pereira, C. G., de Almeida Junior, J. C., Ramos Viana, C. C., de Oliveira Neves, L. N., Fonseca da Silva, P. H., Bell, M. J. V., & de Carvalho dos Anjos, V. (2019). FTIR-ATR determination of protein content to evaluate whey protein concentrate adulteration. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 99, 166–172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.079>
- Buzdar, M., Yaqub, A., Hayat, A., Zia Ul Haq, M., Khan, A., & Ajab, H. (2023). Paper based colorimetric sensor using novel green magnetized nanocomposite of pinus for hydrogen peroxide detection in water and milk. *Food Bioscience*, 55, 103014. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103014>
- Currò, S., Manuelian, C.L., Penasa, M., Cassandro, M., De Marchi, M. (2017). Technical note: Feasibility of near infrared transmittance spectroscopy to predict cheese ripeness. *Journal of Dairy Science*, 100(11), 8759–8763. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13001>
- Daniloski, D., McCarthy, N. A., O'Callaghan, T. F., & Vasiljevic, T. (2022). Authentication of  $\beta$ -casein milk phenotypes using FTIR spectroscopy. *International Dairy Journal*, 129, 105350. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105350>
- Grewal, M. K., Huppertz, T., & Vasiljevic, T. (2018). FTIR fingerprinting of structural changes of milk proteins induced by heat treatment, deamidation and dephosphorylation. *Food Hydrocolloids*, 80, 160–167. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.02.010>
- Holroyd, S. E. (2013). The use of near Infrared Spectroscopy on Milk and Milk Products. *Journal of Near Infrared Spectroscopy*, 21(5), 311–322. <https://doi.org/10.1255/jnirs.1055>
- Manley, M. (2014). Near-infrared spectroscopy and hyperspectral imaging: Non-destructive analysis of biological materials. *Chemical Society Reviews*, 43, 8200–8214. <https://doi.org/10.1039/C4CS00062E>
- Markoska, T., Huppertz, T., Grewal, M. K., & Vasiljevic, T. (2019). FTIR analysis of physiochemical changes in raw skim milk upon concentration. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*, 102, 64–70. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.011>
- Portnoy, M., Coon, C., & Barbano, D.M. (2021). Infrared milk analyzers: Milk urea nitrogen calibration. *Journal of Dairy Science*, 104(7), 7426–7437. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18772>

- Pu, Y.-Y., O'Donnell, C., Tobin, J. T., & O'Shea, N. (2020). Review of near-infrared spectroscopy as a process analytical technology for real-time product monitoring in dairy processing. *International Dairy Journal*, 103, 104623. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104623>
- Temizkan, R., Can, A., Dogan, M. A., Mortas, M., & Ayvaz, H. (2020). Rapid detection of milk fat adulteration in yoghurts using near and mid-infrared spectroscopy. *International Dairy Journal*, 110, 104795. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104795>
- Toffanin, V., De Marchi, M., Lopez-Villalobos, N., & Cassandro, M. (2015). Effectiveness of mid-infrared spectroscopy for prediction of the contents of calcium and phosphorus, and titratable acidity of milk and their relationship with milk quality and coagulation properties. *International Dairy Journal*, 41, 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.10.002>
- Visconti, L. G., Rodríguez, M. S., & Di Anibal, C. V. (2020). Determination of grated hard cheeses adulteration by near infrared spectroscopy (NIR) and multivariate analysis. *International Dairy Journal*, 104, 104647. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2020.104647>
- Wang, Y., Guo, W., Zhu, X. & Liu, Q. (2019). Effect of homogenisation on detection of milk protein content based on NIR diffuse reflectance spectroscopy. *International Journal of Food Sciences and Technology*, 54, 387–395. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13948>

# Комплексная оценка технологических свойств новых сортов пшеницы саратовской селекции для производства макаронных изделий

<sup>1</sup> Федеральный аграрный научный центр Юго-Востока, г. Саратов, Российская Федерация

<sup>2</sup> Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии им. Н. И. Вавилова, г. Саратов, Российская Федерация

<sup>3</sup> Научно-исследовательский институт хлебопекарной промышленности, г. Москва, Российская Федерация

Е. С. Жиганова<sup>1,2</sup>, М. К. Садыгова<sup>2</sup>, В. Я. Черных<sup>3</sup>, Н. М. Цетва<sup>1</sup>, Н. С. Соловова<sup>1</sup>, И. А. Осыка<sup>1</sup>

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Елена Сергеевна Жиганова

E-mail: elena\_zhiganova.89@mail.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Жиганова, Е. С., Садыгова, М. К., Черных, В. Я., Цетва, Н. М., Соловова, Н. С., Осыка, И. А. (2024). Комплексная оценка технологических свойств новых сортов пшеницы саратовской селекции для производства макаронных изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 92-103. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.587>

ПОСТУПИЛА: 22.01.2024

ДОРАБОТАНА: 28.07.2024

ПРИНЯТА: 15.09.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Основу для производства макаронных изделий составляет твердая пшеница благодаря своему высокому показателю стекловидности, что отличает ее от мягкой пшеницы. Для комплексной оценки технологических свойств зерна пшеницы, используемой в макаронном производстве, необходимо в первую очередь контролировать показатель твердозерности пшеницы — индекс прочности, который является интегральной характеристикой как мукомольных свойств злаковой культуры, так и технологических свойств получаемой из неё крупки, являющейся основным сырьем для макаронной промышленности.

**Цель:** Оценка макаронных свойств пшеницы различных ботанических видов на основе анализа физико-химических, включая структурно-механические, характеристик зерна. Этот подход позволяет прогнозировать качество получаемой продукции на этапе подготовки сырья к производству.

**Материалы и методы:** В исследовании рассматривались сорта яровой твердой пшеницы: Гордеиформе 432, Саратовская золотистая, Луч 25, Памяти Васильчука, Тамара, Краснокутка 13, Елизаветинская, а также сорта яровой мягкой высокостекловидной пшеницы: Саратовская 70 и Александрит за период 2022–2023 гг. Комплексная оценка макаронных свойств проводилась с использованием общепринятых методов оценки зерна, крупы и спагетти. Также использовалась информационно-измерительная система на базе прибора Do-corder E330 для исследования реодинамики процесса дезинтеграции зерна пшеницы и прибор Ametek BROOKFIELD CT3 для измерения предела прочности полуфабрикатов макаронных изделий.

**Результаты:** Проведенный корреляционный анализ показал, что интегральным показателем макаронных свойств пшеницы ботанического вида *Triticum durum* является индекс твердозерности (индекс прочности). Установлена значимая зависимость ( $r^* = 0,72 - 0,80$ ) между показателями твердозерности пшеницы и структурно-механическими характеристиками макаронных изделий. Выявлена экспоненциальная зависимость между выходом муки и индексом твердозерности пшеницы:  $V_m = 2,757 \times 10^4 \times \exp(-24,65 \times I_s)$ . Сорта яровой мягкой пшеницы уступают сортам твердой пшеницы по индексу прочности. Высокими макаронными свойствами обладают сорта с индексом прочности не менее  $0,32 \text{ Н} \cdot \text{м}/\%$  и выходом муки не более 10%, включая новые перспективные сорта яровой твердой пшеницы саратовской селекции: Тамара, Луч 25, Памяти Васильчука, Елизаветинская и Саратовская золотистая.

**Выводы:** Применение индекса прочности в оценке качества зерна для макаронных изделий позволяет усовершенствовать систему контроля качества промежуточных зернопродуктов, обеспечивая более высокие стандарты качества готовых изделий.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

твердая пшеница; мягкая высоко стекловидная пшеница; твердозерность; стекловидность зерна; количество белка в зерне; количество клейковины в зерне; зольность зерна и крупки; выход крупки; индекс прочности размола зерна

# Comprehensive Assessment of the Technological Properties of New Wheat Varieties from the Saratov Selection for Pasta Production

Elena S. Zhiganova<sup>1,2</sup>, Madina K. Sadygova<sup>2</sup>, Valeriy Ya. Chernykh<sup>3</sup>, Natalia M. Cetva<sup>1</sup>, Nina S. Solovova<sup>1</sup>, Irina A. Osyka<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Agricultural Research Center of the South-East, Saratov, Russian Federation

<sup>2</sup> Saratov State University of Genetics, Biotechnology and Engineering named after N. I. Vavilov, Saratov, Russian Federation

<sup>3</sup> Research Institute of the Bakery Industry, Moscow, Russian Federation

## CORRESPONDENCE:

Elena S. Zhiganova

E-mail: elena\_zhiganova.89@mail.ru

## FOR CITATIONS:

Zhiganova, E. S., Sadygova, M. K., Chernykh, V. Ya., Cetva, N. M., Solovova, N.S., & Osyka I. A. (2024). Assessment of the structural-mechanical properties of new wheat varieties from the Saratov Selection for Pasta Production. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 92-103. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.587>

RECEIVED: 22.01.2024

REVISED: 28.07.2024

ACCEPTED: 15.09.2024

PUBLISHED: 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** Durum wheat forms the primary basis for pasta production due to its high vitreous index, distinguishing it from soft wheat. For a comprehensive assessment of the technological properties of wheat grain used in pasta production, it is necessary, first of all, to control the wheat hardness index – the strength index, which is an integral characteristic of both the milling properties of cereals and the technological properties of the semolina obtained from it, which is the main raw material for the pasta industry.

**Purpose:** To assess the macaroni properties of wheat from various botanical species through the analysis of the physico-chemical, structural, and mechanical characteristics of the grain. This approach facilitates the prediction of product quality at the raw material preparation stage.

**Materials and Methods:** The study evaluated the following spring durum wheat varieties: Gordeiforme 432, Saratovskaya Zolotistaya, Luch 25, Pamyati Vasilchuka, Tamara, Krasnokutka 13, and Elizavetinskaya, as well as spring soft high-vitreous wheat varieties Saratov 70 and Alexandrite for the period of 2022-2023. The comprehensive assessment of the macaroni properties of these wheat varieties was conducted using standardized methods for grain, semolina, and spaghetti evaluation. Additionally, an information-measuring system based on the Do-corder E330 device was utilized to study the rheodynamics of wheat grain disintegration, and the Ametek BROOKFIELD CT3 device was employed to measure the tensile strength of semi-finished macaroni products.

**Results:** The findings included a correlation analysis, revealing that the integral indicator of macaroni properties for *Triticum durum* wheat is the hardness index (strength index). A significant relationship ( $r^* = 0.72$  to  $0.80$ ) was found between the hardness indicators of wheat and the structural-mechanical properties of pasta. An exponential dependence between flour yield and the wheat hardness index was also established:  $V_m = 2.757 \times 10^4 \times \exp(-24.65 \times I_s)$ . Spring soft wheat varieties demonstrated lower strength indices compared to durum wheat varieties. Varieties with a strength index of at least  $0.32$  Nm/% and a flour yield not exceeding 10% were shown to have superior pasta-making properties. This group includes promising new spring durum wheat varieties from the Saratov breeding, such as Tamara, Luch 25, Pamyati Vasilchuka, Elizavetinskaya, and Saratovskaya Zolotistaya.

**Conclusion:** The application of wheat hardness index in grain quality assessments for pasta production can enhance the control system for intermediate grain products, ensuring higher quality standards for finished products.

## KEYWORDS

durum wheat; soft high-vitreous wheat; hardness; vitreous grain; amount of protein in the grain; amount of gluten in the grain; ash content of grain and semolina; semolina yield; grain grinding strength index

## ВВЕДЕНИЕ

Сорта пшеницы ботанического вида *Triticum durum* являются основным сырьем для производства макаронных изделий по всему миру. В оценке качества данного сырья ключевыми факторами считаются стекловидность, содержание белка и количество каротиноидных пигментов, что подтверждается результатами многочисленных исследований отечественных и зарубежных ученых (Fu et al., 2017; Дуктова и соавт., 2019; Самофалова и соавт., 2022; Гапонов и соавт., 2024; Садыгова и соавт., 2021). При этом количество каротиноидных пигментов является генетически обусловленным сортовым признаком и не зависит от внешних факторов (Digesù et al., 2009). В отличие от этого, показатели содержания белка и стекловидности подвержены значительным колебаниям в зависимости от условий выращивания, сбора урожая и года производства, что требует усиленного контроля для обеспечения стабильного качества продукции.

Технологические свойства зерна, используемого для производства макаронных изделий, напрямую связаны со структурно-механическими характеристиками зерна, которые обусловлены стекловидностью, химическими и морфологическими показателями. Пшеница вида *Triticum durum* характеризуется высокой степенью стекловидности, обусловленной особенностями белковой матрицы и плотностью упаковки зерен крахмала (Fu et al., 2017), что значительно отличает ее от *Triticum aestivum* и способствует лучшим мукомольным свойствам (Johnson et al., 2019; Кравченко и соавт., 2020). Согласно ГОСТ 10987–76, зерно может быть классифицировано как стекловидное, полу стекловидное или мучнистое. Международные стандарты, такие как Канадское руководство по классификации пшеницы, предполагают, что наличие видимого крахмального пятна исключает зерно из категории стекловидных (Fu et al., 2017; Васильчук, 2001; Дуктова и соавт., 2019; Медведев и соавт., 2019).

Несмотря на значимость плотности белковой матрицы для показателя стекловидности, исследования показывают отсутствие устойчивой взаимосвязи между содержанием белка и стекловидностью. В то же время степень стекловидности зависит от уровня агротехнологий, времени посева и сбора урожая (Кирьякова и соавт., 2023; Васильчук, 2001; Johnson et al., 2019; Жиганова и соавт., 2024).

Для более комплексной оценки технологических свойств зерна необходимо учитывать структурно-механические характеристики (Федотов, 2017), такие как показатели твердозерности, которые определяются морфологическими особенностями зерна, плотностью его белковой матрицы, размерами крахмальных зерен, а также соотношением структурных макрокомплексов и содержанием сухих веществ. Показатели твердозерности выступают интегральными характеристиками, которые отражают как мукомольные, так и макаронные или хлебопекарные свойства зерна. (Федотов, 2018) Современные исследования в макаронной промышленности направлены на разработку методов контроля качества зерна, основанных на оценке этих показателей (Hourston et al., 2017).

На практике для оценки потребительских свойств пшеницы применяют стандартизированные показатели качества. Однако их использование не всегда позволяет полноценно охарактеризовать технологические достоинства зерна и предсказать качество продукции, получаемой из него. В России показатель стекловидности является одним из ключевых при оценке структурно-механических свойств пшеницы, связываемым с химическим составом и мукомольными характеристиками. Тем не менее, его информативность ограничена, так как при одинаковой стекловидности различные сорта пшеницы могут обладать различными структурно-механическими и технологическими характеристиками.

Целью настоящего исследования является совершенствование системы контроля качества промежуточных зернопродуктов при производстве макаронных изделий на основе оценки структурно-механических свойств зерна через показатель твердозерности, который комплексно отражает микрорегетерогенные особенности эндосперма.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Материалы

Объектами исследования являются сорта яровой пшеницы саратовской селекции «*Triticum durum*»: Гордеиформе 432; Саратовская золотистая; Луч 25; Памяти Васильчука; Тамара; Краснокутка 13; Елизаветинская и «*Triticum aestivum*»: Александрит и Саратовская 70.

## Методы

Определение физико-химических характеристик зерна осуществляли по общепринятым методикам: стекловидность по ГОСТ 10987–76 «Зерно. Методы определения стекловидности»; массу 1000 зерен по ГОСТ 10842–89 «Семена сельскохозяйственных культур. Метод определения массы 1000 семян»; содержание белка и его влажность с использованием инфракрасного анализатора Infratec Foss (Дания); зольность по ГОСТ Р 51411–99 «Зерно и продукты его переработки. Определение зольности (общей золы); показатели твердозерности — индекс прочности и количество энергии дезинтеграции (Черных и соавт., 2015; 2023) с использованием информационно-измерительной системы, включающей прибор «Do-corder E330» и измельчитель зерна (Рисунок 1).

## Процедура исследования

Для получения крупки зерно, предварительно очищали от примесей и определяли влажность. Отволаживание проводили при влажности 15–17% в течение 17–18 часов. Семолину получали односортовым помолом на лабораторной мельнице Бранднер Квадрумат Юниор (Германия) и просеивали на ситах. Режимы и параметры измельчения для всех сортов оставались неизменными. Просеивание измельченного зерна проводили вручную в течение 2–3 минут на трех ситах: 0,87 мм; 0,40 мм и 0,09 мм. Выход крупки рассчитывали в процентах по отношению к начальной массе зерна.

Выработку спагетти производили из макаронного теста с влажностью 35% на прессе ПСЛ-13 (Россия). Макароны сушили в сушильном шкафу ТС-200 СПУ при температуре 40°C и относительной влажности воздуха 80% в течение 24 часов. Далее макаронные изделия охлаждали до комнатной температуры и проводили стабилизацию при стандартных условиях хранения (Васильчук, 2001, с. 70).

Силу излома полуфабриката макаронных изделий проводили на приборе Ametek BROOKFIELD СТ3. Методика основана на определении предельного усилия нагружения ( $F_{пр}$ ) и предела прочности при изгибе на инденторе ( $\sigma_{п}$ ) «Пластина», прикладываемом с определенной скоростью движения 0,5 мм/с вниз до его касания середины макаронного

## Рисунок 1

Информационно-измерительная система для определения показателей реодинамики процесса дезинтеграции зерна пшеницы на базе прибора «Do-corder E330», включающего измельчитель

## Figure 1

Information-Measuring System for Determining the Rheodynamic Parameters of the Wheat Grain Disintegration Process Based on the “Do-Corder E330” Device, Including a Grinder



изделия с усилием 6,8 г, помещенного на две опоры столика с расстоянием  $l$ , мм, которое обусловлено диаметром  $d_m$  макаронных изделий ( $l = 10d_m + 30$ ). Диаметр макаронных изделий 5 мм.

## Анализ данных

Корреляционный анализ полученных данных был проведен с использованием Microsoft Excel 2010 с помощью коэффициента корреляции между двумя множествами данных.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Исследование зерна по показателям качества

Наибольшую стекловидность имеют сорта Елизаветинская 85–98%, Тамара 85–98%, Памяти Васильчука 86–97%, Луч 25 81–88%. соответствующий требованиям производств показатель по стекловидности за 2 года исследования показал сорт яровой мягкой пшеницы Александрит 84–86% (Таблица 1).

**Таблица 1**

Показатели качества зерна яровой твердой и мягкой высокостекловидной пшеницы и выход крупки за 2022–2023 гг.

**Table 1**

Quality Indicators of Grain from Hard Spring and High-vitreous Soft Spring Wheat and Semolina Yield for 2022–2023

Название	Показатели				
	Выход крупки, %	Зольность крупки, %	Стекловидность, %	Белок, %	Масса 1000 зерен, г
Яр. тв. пш сорт Гордеиформе 432	48	0,69	73	13,7	46
Яр. тв. пш сорт Саратовская золотистая	52	0,73	78	14,0	48
Яр. тв. пш сорт Луч 25	54	0,71	81	14,2	53
Яр. тв. пш сорт Памяти Васильчука	50	0,74	86	14,8	49
Яр. тв. пш сорт Тамара	46	0,68	82	13,4	51
Яр. тв. пш сорт Краснокутка 13	46	0,70	67	13,7	48
Яр. тв. пш сорт Елизаветинская	47	0,66	91	14,8	48
Яр. мяг. пш сорт Саратовская 70	49	0,52	63	11,5	40
Яр. мяг. пш сорт Александрит	42	0,51	86	15,8	39

Наименьший показатель содержания белка за два года исследования показал сорт яровой мягкой пшеницы сорта Саратовская 70–11,5%. Все сорта яровой твердой пшеницы показали высокий уровень белка в зерне. Наибольший показатель у сортов Елизаветинская и Памяти Васильчука – 14,8% (Таблица 1). Оптимальный показатель у сорта яровой мягкой пшеницы Александрит – 15,8%.

По показателю массы 1000 семян наилучший результат за 2 года показали сорта Луч 25 (53 г.), Тамара (51 г.), Памяти Васильчука (49 г.). Сорта мягкой яровой пшеницы имели низкий показатель массы 39–40 г. (Таблица 1) Нами были построены графики, отражающие взаимосвязь между стекловидностью зерна и показателями содержания белка и клейковины (Рисунок 2).

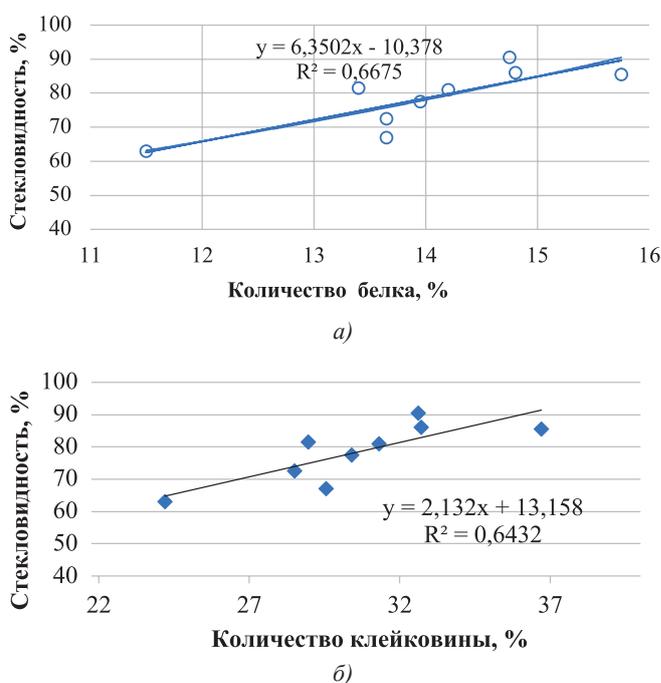
Согласно Рисунку 2, наблюдается значимая корреляционная взаимосвязь у показателя стекловидности и содержания белка в зерне 0,67 (2а), а также стекловидности и содержания клейковины 0,64 (2б). Так в 2022 году новые перспективные сорта твердой пшеницы имели стекловидность 65–83% и содержание белка было 12,6–13,9%, а в 2023 году стекловидность 88–98% и белка соответственно 14,2–15,8%. У пшеницы ботанического вида «Triticum aestivum» стекловидность и количество белка за 2 года исследования существенно не изменились.

**Рисунок 2**

Взаимосвязь между стекловидностью зерна и с другими показателями качества зерна яровой твердой и яровой мягкой высокостекловидной пшеницы

**Figure 2**

Relationship between Grain Glassiness and Other Quality Indicators of Hard Spring and High-Vitreous Soft Spring Wheat



## Исследование зерна на процент выхода крупки

Расчет выхода крупки на мельнице Брабендер Квадрумат Юниор показал следующие результаты. Наибольший, средний за два года процент выхода у сорта яровой твердой пшеницы Луч 25–54%, связано это с наибольшей натурой зерна. Но сорт Тамара при относительно большой массе зерна, и при этом высокой стекловидности, показал наименьший выход крупки — 46%. Маленький выход крупки и у сорта яровой твердой пшеницы с большой стекловидностью Елизаветинская — 47% (Таблица 1). Отличительным показателем при просеивании крупки твердой от мягкой пшеницы было количество мучки. Проход с сита 0,09 мм у твердой пшеницы был в пределах 1,6–2,5%, когда для мягкой пшеницы 4,5–5,5%.

По расчетам выхода крупки мягкой высокостекловидной и твердой пшеницы имеет положительную корреляцию с содержанием белка в зерне  $r^* = 0,32$ . Хотя по корреляции, рассчитанной только для сортов твердой пшеницы, данный показатель имеет положительную значительную корреляцию с массой 1000 зерен в пределах  $r^* = 0,37...0,52$ .

## Исследование зерна на твердозерность

В Таблице 2 приведены показатели твердозерности пшеницы: максимальный крутящий момент

Таблица 2

Показатели твердозерности яровой твердой и мягкой высокостекловидной пшеницы за 2022–2023 гг.

Table 2

Indicators of Hardness in Hard Spring and High-Vitreous Soft Spring Wheat for 2022–2023

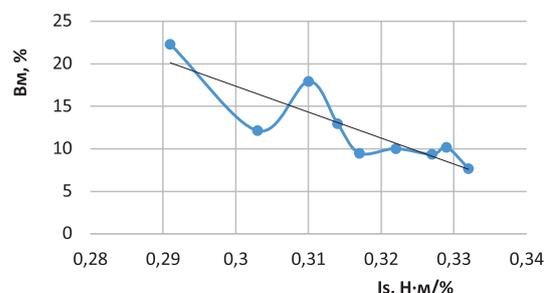
Название	$W_z$ , %	$B_m$ , %	$E_{уд}$ , Дж/г	$M_{кр.макс}$ , Н·м	$\tau_{и}$ , с	$I_s$ , Н·м/%
Яр. тв. пш сорт Гордеиформе 432	11,95	12,13	26,86	26,68	20,61	0,30
Яр. тв. пш сорт Саратовская золотистая	12,05	10,18	28,90	28,90	20,67	0,33
Яр. тв. пш сорт Луч 25	12,05	9,50	28,39	27,92	20,84	0,32
Яр. тв. пш сорт Памяти Васильчука	12,25	9,35	28,54	28,66	20,44	0,33
Яр. тв. пш сорт Тамара	11,75	7,70	29,27	29,27	20,90	0,33
Яр. тв. пш сорт Краснокутка 13	12,05	12,95	27,96	27,62	20,91	0,31
Яр. тв. пш сорт Елизаветинская	11,80	10,03	28,23	28,42	20,65	0,32
Яр. мяг. пш сорт Саратовская 70	11,60	22,29	28,76	25,69	22,35	0,30
Яр. мяг. пш сорт Александрит	12,50	17,92	28,07	27,10	20,67	0,31

Рисунок 3

Взаимосвязь между выходом муки ( $B_m$ , %) и показателем твердозерности пшеницы – индексом прочности ( $I_s$ , Н·м/%)

Figure 3

Relationship between Flour Yield ( $F_y$ , %) and the Hardness Indicator of Wheat – Strength Index ( $I_s$ , N·m/%)



( $M_{кр.макс}$ , Н·м); продолжительность измельчения ( $\tau_{и}$ , с); количество удельной механической энергии дезинтеграции ( $E_{уд}$ , Дж/г) и индекс прочности ( $I_s$ , Н·м/%), установленные с помощью информационно-измерительной системы, приведенной на Рисунке 1.

На основе анализа взаимосвязи между индексом прочности зерна и выходом муки (таблица 2) установлена обратная связь между твердозерностью анализируемых сортов пшеницы и выходом муки. Визуализация данной взаимосвязи, приведенная на Рисунке 3 показывает, что чем выше твердозерность пшеницы, тем меньше выход муки. Это связано с тем, что частицы муки из твердозерной

**Таблица 3**

Корреляционная взаимосвязь между показателями свойств зерна яровой твердой и мягкой высокостекловидной пшеницы и показателями твердозерности

**Table 3**

Correlation Relationship between the Grain Properties of Hard Spring and High-Vitreous Soft Spring Wheat and Hardness Indicators

	Натура	Масса 1000 зерен	Стекловидность	Белок	Сырая клейковина	Влажность	Выход муки
Удельная работа	0,12	0,23	0,15	-0,21	-0,12	-0,25	-0,12
Макс. момент	<b>-0,67</b>	<b>0,73</b>	<b>0,64</b>	0,43	0,38	0,13	<b>-0,87</b>
Длит. дроблен.	<b>0,78</b>	-0,45	<b>-0,69</b>	<b>-0,84</b>	<b>-0,74</b>	<b>-0,62</b>	<b>0,74</b>

пшеницы получают более крупными и их меньше проходит через сито. При этом корреляционная взаимосвязь между этими показателями соответствует 0,87.

Согласно Рисунку 3, сорта пшеницы с индексом прочности не менее 0,32 Н · м/% с выходом муки не более 10% обладают хорошими макаронными свойствами.

Функциональная связь между этими показателями имеет следующий вид:

$$B_m = 2,757 \cdot 10^4 \cdot \exp(-24,65 \cdot I_s).$$

Из Таблицы 3 видно, что максимальный крутящий момент имеет прямую положительную взаимосвязь с показателями стекловидности и массой 1000 зерен  $r^* = 0,64$  и  $0,73$ , и обратную — с выходом муки  $r^* = -0,87$  и натурой зерна  $r^* = -0,67$ . Тем самым подтверждая, что с увеличением стекловидности увеличивается усилие для размола и уменьшается выход муки, что характерно для зерна твердой пшеницы. При этом время или длительность измельчения имеет значимую взаимосвязь со всеми показателями технологических свойств зерна: обратная значимая взаимосвязь наблюдалась у стекловидности и количества белка  $r^* = -0,69 \dots -0,84$ , а также влажности зерна; прямая взаимосвязь — с показателями выхода муки и натурой зерна  $r^* = 0,74$  и  $0,78$ .

### Исследование сухих макаронных изделий на излом

Прочность полуфабриката на излом относится к товарно-технологическим свойствам макаронных изделий. В Таблице 4 показаны структурно-ме-

ханические характеристики (показатели текстуры), изготовленных макаронных полуфабрикатов из исследуемых образцов яровой твердой и мягкой пшеницы саратовской селекции.

Проведенные исследования показали, что предельное усилие нагружения макаронных изделий из новых сортов яровой твердой пшеницы выше

**Таблица 4**

Показатели текстуры спагетти из яровой твердой и яровой мягкой высокостекловидной пшеницы

**Table 4**

Texture Indicators of Spaghetti Made from Hard Spring and High-Vitreous Soft Spring Wheat

Наименование	Предельное усилие нагружения, гс	Предельная деформация, мм	Предел прочности, МПа
Яр.тв.пш сорт Гордеи-форме 432	67,00	2,74	1,05
Яр.тв.пш сорт Саратовская золотистая	72,75	2,71	1,14
Яр.тв.пш сорт Луч 25	81,75	3,04	1,28
Яр.тв.пш сорт Памяти Васильчука	<b>95,15</b>	<b>3,49</b>	<b>1,49</b>
Яр.тв.пш сорт Тамара	<b>91,10</b>	<b>3,19</b>	<b>1,43</b>
Яр.тв.пш сорт Краснокутка 13	71,75	2,73	1,13
Яр.тв.пш сорт Елизаветинская	<b>92,15</b>	<b>3,21</b>	<b>1,45</b>
Яр.мяг.пш сорт Саратовская 70	62,00	2,45	0,97
Яр.мяг.пш сорт Александрит	64,50	2,50	1,01

сорта стандарта региона Краснокутска 13: Памяти Васильчука на 24,5 %, Елизаветинская на 22 %, Тамара на 21,5 % (Таблица 4). В сравнении с образцами спагетти из сортов яровой мягкой высоко-стекловидной пшеницы эти сорта показали увеличенные результаты: Памяти Васильчука на 32–35 %, Елизаветинская на 30–33 %, Тамара на 29–32 %. Соответственно и рабочий цикл твердости имел отличительные высокие значения у данных сортов яровой твердой пшеницы от стандарта на 25–37 %, а от сортов мягкой высокостекловидной пшеницы до 52,5 % (Таблица 4).

Установленные показатели (Таблица 5) отражают высокую корреляционную взаимосвязь между исходным показателем твердозерности пшеницы — величиной максимального крутящего момента на приводе измельчителя при дезинтеграции зерна и показателями текстуры макаронных изделий спагетти, изготовленных из перспективных новых сортов яровой твердой и мягкой пшеницы.

**Таблица 5**

Корреляционная взаимосвязь между показателями твердозерности пшеницы и показателями текстуры макаронных изделий спагетти из яровой твердой и мягкой пшеницы

**Table 5**

Correlation between Wheat Hardness Indicators and Texture Indicators of Spaghetti Made from Hard Spring and Soft Spring Wheat

Показатели твердозерности пшеницы	Показатели текстуры макаронных изделий		
	Предельное усилие нагружения	Деформация при изломе	Предел прочности
Удельная работа	0,38	0,24	0,38
Макс. Момент	<b>0,80</b>	<b>0,72</b>	<b>0,80</b>
Длит. дроблен.	<b>-0,47</b>	<b>-0,52</b>	<b>-0,47</b>

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенное исследование показало, что структурно-механические свойства новых сортов яровой твердой пшеницы саратовской селекции удовлетворяют высоким требованиям для производства макаронных изделий. Основным отличительным признаком этих сортов является высокая стекловидность зерна, которая, согласно ГОСТ 9353–2016,

для зерна I класса должна составлять не менее 85 % (Дуктова и соавт., 2019). Полученные данные демонстрируют, что сорта яровой твердой пшеницы показывают показатели стекловидности до 98 %, что значительно превышает минимальные стандарты, что подчеркивает их пригодность для использования в производстве паста-продуктов. Особого внимания заслуживает сорт яровой мягкой пшеницы Александрит, который также показал оптимальные результаты по этому показателю.

Результаты анализа содержания белка подтвердили соответствие всех исследованных сортов требованиям ГОСТ 9353–2016 для I класса зерна (не менее 13,5 %). Это подтверждает, что исследуемые сорта способны обеспечить достаточное количество клейковины, необходимое для формирования прочных и качественных макаронных изделий. Исследования также подтвердили выводы Медведева (2019) о том, что высокобелковые сорта с содержанием белка выше 15 % не применяются в производстве из-за формирования резиноподобной структуры готовых изделий. Оптимальными являются сорта с содержанием белка в диапазоне 13–15 %, что согласуется с показателями рассмотренных сортов.

Корреляционный анализ выявил положительные взаимосвязи между показателями стекловидности и содержанием белка ( $r = 0,67$ ), а также стекловидности и содержанием клейковины ( $r = 0,64$ ), что подтверждает гипотезу о том, что стекловидность зерна тесно связана с качественными показателями зерна и наследуется вместе с ними. Эти данные соответствуют результатам, представленным в исследованиях польских ученых (Kaliniewicz et al., 2023) в которых показатель стекловидности пшеницы и содержания в них белка имеют положительную корреляцию. Это говорит о том, что более стекловидные зерна пшеницы, как правило, содержат больше белка, что может повлиять на качество (Fu et al., 2018). Данный вывод подтверждается нашими ранними исследованиями (Жиганова и соавт., 2024), где была показана стабильная положительная корреляция усилия нагружения излома спагетти со стекловидностью (до  $r^* = 0,77$ ) и белком (до  $r^* = 0,55$ ). Медведев и соавт. (2020) выявили корреляционную связь между стекловидностью, выходом крупки и прочностью изделий на срез. В нашем исследовании, однако, такая корреляция не была обнаружена, что можно объяснить отличительными агроклиматическими условиями Саратовской области.

Выход крупки и его зависимость от содержания белка также была подтверждена в нашем исследовании, что согласуется с результатами, полученными белорусскими учеными (Дуктова и соавт., 2019). Это связано с особенностями строения белковой матрицы зерен высокой стекловидности, при которой раскол происходит на границе крахмального ядра, минимизируя превращение зерна в крупку. Данный факт подтверждают и выводы зарубежных ученых о значении структуры белковой матрицы в процессе помола (Hourston et al., 2017).

В исследованиях Медведева с соавт. (2019) было обосновано применение показателя твердозерности для исследования зерна на макаронные цели. Доказано, что твердозерность является информативным показателем для прогнозирования технологических свойств зерна независимо от метода измельчения зерна. В нашем исследовании установлена экспоненциальная зависимость между выходом муки и индексом твердозерности пшеницы. Эта взаимосвязь ведет к повышению экономической эффективности процесса производства крупки и качества макаронных изделий за счет стабилизации гранулометрического состава муки. Сорта пшеницы, обладающие индексом прочности не менее  $0,32 \text{ Н} \cdot \text{м}/\%$  и выходом крупки не более 10%, продемонстрировали высокую пригодность для производства макаронных изделий, включая сорта Тамара, Луч 25, Памяти Васильчука, Елизаветинская и Саратовская золотистая. Таким образом, результаты исследования подтверждают перспективность новых сортов саратовской селекции для применения в макаронном производстве. Учитывая современный технологичный процесс помола, специфичные корректировки в зависимости от сорта и вида пшеницы могут значительно повысить экономическую эффективность производства.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные комплексные физико-химические исследования, включая анализ структурно-механических характеристик различных ботанических видов и сортов пшеницы, показали, что показатель твердозерности (индекс прочности) выступает интегральным показателем, определяющим макаронные свойства пшеницы вида *Triticum durum*. Установлена значительная корреляция между показателями твердозерности и качественными характеристиками зерна, такими как содержание белка, стекловидность, масса 1000 зерен и содержание клейковины, а также выход крупки и прочность макаронных полуфабрикатов. Полученные данные подтверждают, что использование этого показателя позволяет эффективно прогнозировать качество конечной продукции уже на начальном этапе формирования помольных партий зерна в макаронном производстве. Применение данного подхода способно усовершенствовать систему контроля качества промежуточных зернопродуктов, обеспечивая высокую надежность и точность оценок. Это повысит экономической эффект процесса производства крупки и качества макаронных изделий за счет того, что твердозерность зерна определяет гранулометрический состав крупки при помоле.

Ограничениями данного исследования являются полученные данные за два года урожая, что может влиять на корректность результатов, учитывая межгодовые колебания качественных показателей зерна. Кроме того, большой объем зерна, необходимый для проведения опыта, также является сдерживающим фактором, так как этот метод не может быть применен на ранних этапах селекционного процесса, где объем доступного зерна ограничен.

Дальнейшие исследования будут направлены на расширение ассортимента изучаемых сортов саратовской селекции и увеличение временного диапазона наблюдений. Это позволит создать более полную шкалу определения твердозерности сортов, улучшить методику оценки их структурно-механических свойств и повысить качество контроля при производстве макаронной продукции.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Елена Сергеевна Жиганова** — концептуализация, проведение исследований, формальный анализ, написание черновика рукописи, создание рукописи и ее редактирование.

**Мадина Карипулловна Садыгова** — концептуализация, научное руководство, написание черновика рукописи, создание рукописи и ее редактирование.

**Валерий Яковлевич Черных** — проведение исследований, написание черновика рукописи, создание рукописи и ее редактирование.

**Наталия Михайловна Цетва** — ресурсы, проведение исследований.

**Нина Сергеевна Соловова** — ресурсы, проведение исследований.

**Ирина Александровна Осыка** — проведение исследований.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Elena S. Zhiganova** — conceptualization, investigation, formal analysis, writing — original draft preparation, writing — review & editing.

**Madina K. Sadygova** — conceptualization, supervision, writing — original draft preparation, writing — review & editing.

**Valery Ya. Chernykh** — investigation, writing — original draft preparation, writing — review & editing.

**Natalia M. Cetva** — resources, investigation.

**Nina S. Solovova** — resources, investigation.

**Irina A. Osyka** - investigation.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Алтайулы, С., Еремекбаев, С. Б., Шарикбаева, Г. Ж. (2019). Влияние стекловидности и природы зерна на выход макаронной муки. *Пища. Экология. Качество: Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции* (с. 61–62). Барнаул: Алтайский государственный университет.
- Altauly, S., Ermekbayev, S. B., Sherikbayeva, G. Zh. (2019). The influence of vitreousness and grain nature on the yield of pasta flour. *Food. Ecology. Quality: Collection of materials of the XVI International Scientific and Practical Conference* (p. 61–62). Barnaul: Altai State University.
- Васильчук, Н. С. (2001). *Селекция яровой твердой пшеницы*. Новая газета.
- Vasilchuk, N. S. (2001). *Breeding of spring durum wheat*. Novaya Gazeta. (In Russ.)
- Гапонов, С. Н., Попова, В. М., Шутарева, Г. И., Еременко, Л. В., Паршикова, Т. М., & Цетва, Н. М. (2017). Основные достижения и направления селекции яровой твердой пшеницы в ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока». *Зерновое хозяйство России*, 4(52), 17–21.
- Gaponov, S. N., Popova, V. M., Shutareva, G. I., Eremenko, L. V., Parshikova, T. M., Tsetva, N. M. (2017). The main achievements and trends of spring durum wheat breeding in FSBSI 'RIA of South-East'. *Grain Economy of Russia*, 4(52), 17–21. (In Russ.)
- Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., & Цетва, Н. М. (2019). 35 лет научной деятельности лаборатории селекции и семеноводства яровой твердой пшеницы: результаты и перспективы. *Аграрный вестник Юго-Востока*, 3(23), 4–6.
- Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., & Tsetva, N. M. (2019). 35 years of scientific activity in the laboratory of breeding and seed production of spring durum wheat: Results and prospects. *Agrarian Bulletin of the Southeast*, 3(23), 4–6. (In Russ.)
- Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., & Цетва, Н. М. (2020). Новый сорт яровой твердой пшеницы памяти Васильчука. *Аграрный вестник Юго-Востока*, 2(25), 4–5.
- Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., & Tsetva, N. M. (2020). New spring durum wheat variety in memory of Vasilychuk. *Agrarian Bulletin of the Southeast*, 2(25), 4–5. (In Russ.)
- Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., & Цетва, Н. М. (2024). Экологическая адаптивность сортов яровой твердой пшеницы (*Triticum durum* Desf.) саратовской селекции. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 185(1), 184–190. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-1-184-190>
- Gaponov, S. N., Shutareva, G. I., & Tsetva, N. M. (2024). Ecological adaptability of Saratov-bred spring durum wheat (*Triticum durum* Desf.) varieties. *Proceedings on Applied Botany, Genetics, and Breeding*, 185(1), 184–190. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2024-1-184-190> (In Russ.)
- Гурьева, К. Б., & Белецкий, С. Л. (2020). Динамика значения показателя твердозерности при длительном хранении зерна пшеницы. *Инновационные технологии*

- производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд, 14, 60–69.
- Guryeva, K. B., & Beletsky, S. L. (2020). Dynamics of vitreousness value during long-term storage of wheat grain. *Innovative Technologies for Production and Storage of Material Values for State Needs*, 14, 60–69. (In Russ.)
- Дуктова, Н. А., Минина, Е. М. (2019). Технологические свойства зерна отечественных сортов яровой твердой пшеницы. *Земледелие и растениеводство*, (2), 14–18.
- Duktova, N. A., Minina, E. M. (2019). Technological properties of domestic spring durum wheat varieties grain. *Crop Farming and Plant Growing*, (2), 14–18. (In Russ.)
- Дуктова, Н. А., & Минина, Е. М. (2019). Физико-химические свойства зерна отечественных сортов яровой твердой пшеницы. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*, 2, 123–128.
- Duktova, N. A., & Minina, E. M. (2019). Physicochemical properties of grain from domestic varieties of spring durum wheat. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, 2, 123–128. (In Russ.)
- Жиганова, Е. С., Гапонов, С. Н., Садыгова, М. К., Соловова, Н. С., Жиганов, Д. А. (2024). Исследование оптимального соотношения мягкой и твердой пшеницы в рецептуре макаронных изделий. *Хлебопродукты*, 4, 42–48. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2024-33-4-42-48>
- Zhiganova, E. S., Gaponov, S. N., Sadygova, M. K., Solovova, N. S., Zhiganov, D. A. (2024). Study of the optimal ratio of soft and durum wheat in pasta recipes. *Grain Products*, 4, 42–48. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2024-33-4-42-48> (In Russ.)
- Кандроков, Р. Х., Береулов, М. Ш., Игонин, В. Н., & Наумович, Р. В. (2020). Мукомольные свойства зерна сортов и перспективных сортообразцов твердой озимой и яровой пшеницы. *Российская сельскохозяйственная наука*, 1, 66–71. <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-1-66-71>
- Kandrokov, R. Kh., Begeulov, M. Sh., Igonin, V. N., & Naumovich, R. V. (2020). Milling properties of grain from varieties and promising lines of winter and spring durum wheat. *Russian Agricultural Science*, 1, 66–71. <https://doi.org/10.31857/S2500-2627-2020-1-66-71> (In Russ.)
- Кирьякова, М. Н., Юсов, В. С., & Евдокимов, М. Г. (2023). Стекловидность зерна и оценка адаптивной способности перспективных линий яровой твердой пшеницы в условиях Омской области. *Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет)*, 2(67), 44–50. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-44-50>
- Kiryakova, M. N., Yusov, V. S., & Yevdokimov, M. G. (2023). Vitreousness of grain and evaluation of adaptive ability of promising spring durum wheat lines in the conditions of the Omsk region. *Bulletin of the Novosibirsk State Agrarian University*, 2(67), 44–50. <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2023-67-2-44-50> (In Russ.)
- Кравченко, Н. С., Самофалова, Н. Е., Олдырева, И. М., & Макарова, Т. С. (2020). Характеристика сортов озимой твердой пшеницы по качеству зерна и макаронным свойствам. *Зерновое хозяйство России*, 3, 26–31. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31>
- Kravchenko, N. S., Samofalova, N. E., Oldyreva, I. M., & Makarova, T. S. (2020). Characteristics of winter durum wheat varieties by grain quality and pasta properties. *Grain Farming of Russia*, 3, 26–31. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-69-3-26-31> (In Russ.)
- Медведев, П. В., Федотов, В. А., & Бочкарева, И. А. (2015). Влияние твердозерности зерна на его макаронные свойства. *Международный научно-исследовательский журнал*, 11–2(42), 68–74. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.42.149>
- Medvedev, P. V., Fedotov, V. A., & Bochkareva, I. A. (2015). The effect of grain vitreousness on its pasta properties. *International Research Journal*, 11–2(42), 68–74. <https://doi.org/10.18454/IRJ.2015.42.149> (In Russ.)
- Медведев, П. В., & Федотов, В. А. (2019). Твердозерность пшеницы как фактор регулирования потребительских свойств макаронных изделий. В Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры: *Материалы Всероссийской научно-методической конференции* (с. 2181–2189). Оренбург: Оренбургский государственный университет.
- Medvedev, P. V., & Fedotov, V. A. (2019). The hardness of wheat as a factor in regulating the consumer properties of pasta. In *The university complex as a regional center of education, science and culture: Materials of the All-Russian Scientific and Methodological Conference* (pp. 2181–2189). Orenburg: Orenburg State University. (In Russ.)
- Медведев, П. В., Федотов, В. А., Владимиров, Н. П. (2019). Влияние генотипических факторов зерна пшеницы на структурно-механические свойства продуктов его размола. *Международный научно-исследовательский журнал*, 12–1(90), 104–108. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.90.12.021>
- Medvedev, P. V., Fedotov, V. A., Vladimirov, N. P. (2019). The influence of genotypic factors of wheat grain on the structural and mechanical properties of its grinding products. *International Scientific Research Journal*, 12–1(90), 104–108. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2019.90.12.021> (In Russ.)
- Медведев, П. В., Федотов, В. А., & Лукьянова, Е. С. (2020). Сравнительная оценка показателей структурно-механических свойств зерна пшеницы. *Новые технологии*, 3, 63–70. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2020-10307>
- Medvedev, P. V., Fedotov, V. A., & Lukyanova, E. S. (2020). Comparative evaluation of the structural-mechanical properties of wheat grain. *New Technologies*, 3, 63–70. <https://doi.org/10.24411/2072-0920-2020-10307> (In Russ.)
- Ремесло, В. Н. (1971). *Методы оценки технологических качеств зерна*. Москва.
- Remeslo, V. N. (1971). *Methods for evaluating the technological qualities of grain*. Moscow. (In Russ.)
- Садыгова, М. К., Гапонов, С. Н., Шутарева, Г. И., & Филина, Д. К. (2021). Технологический потенциал зерна яровой твердой пшеницы Саратовской селекции. *Техника и технология пищевых производств*, 51(4), 759–767. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-759-767>

- Sadygova, M. K., Garonov, S. N., Shutareva, G. I., & Filina, D. K. (2021). Technological potential of grain of Saratov selection spring durum wheat. *Techniques and Technologies of Food Productions*, 51(4), 759–767. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-4-759-767> (In Russ.)
- Самофалова, Н. Е., Иличкина, Н. П., Безуглая, Т. С., Кравченко, Н. С., Иванисова, А. С., Кабанова, Н. В., & Дубинина, О. А. (2022). Сопряженность признаков качества зерна, крупки и макарон у пшеницы твердой озимой. *Зерновое хозяйство России*, 4, 62–69. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-62-69>
- Samofalova, N. E., Ilichkina, N. P., Bezuglaya, T. S., Kravchenko, N. S., Ivanisova, A. S., Kabanova, N. V., & Dubinina, O. A. (2022). Correlation of grain, groat, and pasta quality traits in winter durum wheat. *Grain Farming of Russia*, 4, 62–69. <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2022-82-4-62-69> (In Russ.)
- Федотов, В. А. (2017). К вопросу оценки качества пшеницы по структурно-механическим свойствам зерна. *Международный научно-исследовательский журнал*, 8(62), 80–82. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.028>
- Fedotov, V. A. (2017). On the issue of wheat quality assessment based on the structural and mechanical properties of grain. *International Scientific Research Journal*, 8(62), 80–82. <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.62.028> (In Russ.)
- Федотов, В. А. (2018). Твердозерность зерна как фактор регулирования потребительских свойств макаронных изделий. Студенческие научные общества — экономике регионов: Сборник материалов Международной молодежной научной конференции (с. 445–452). Оренбург: Оренбургский государственный университет.
- Fedotov, V. A. (2018). Grain hardness as a factor in regulating the consumer properties of pasta. *To Student scientific societies — economics of regions: A collection of materials of the International Youth Scientific Conference* (pp. 445–452). Orenburg: Orenburg State University. (In Russ.)
- Черных, В. Я. (2015). Принципы управления качеством макаронных изделий. *Хлебопечение России*, 6, 37–41.
- Chernykh, V. Ya. (2015). Principles of quality management of pasta products. *Bread Baking of Russia*, 6, 37–41. (In Russ.)
- Черных, В. Я., Карпушина, Е. В., Быкова, Н. Ю., & Максимов, А. С. (2020). Информационно-измерительная система на базе прибора «Полиреотест ПРТ-2» для контроля твердозерности пшеницы. *Хлебопродукты*, 8, 57–61. doi:10.32462/0235-2508-2020-29-8-57-61
- Chernykh, V. Ya., Karpushina, E. V., Bykova, N. Yu., & Maksimov, A. S. (2020). Information and measurement system based on the “Polireotest PRT-2” device for controlling wheat vitreousness. *Grain Products*, 8, 57–61. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-8-57-61> (In Russ.)
- Черных, В. Я., Максимов, А. С., & Балуюн, Х. А. (2023). Классификация технологических свойств пшеницы по показателям твердозерности. *Хлебопродукты*, 6, 54–60. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2023-32-6-54-60>
- Chernykh, V. Ya., Maksimov, A. S., & Baluyan, Kh. A. (2023). Classification of technological properties of wheat based on vitreousness indicators. *Grain Products*, 6, 54–60. <https://doi.org/10.32462/0235-2508-202332-6-54-60> (In Russ.)
- Digesù, A. M., Platani, C., Cattivelli, L., Mangini, G., & Blanco, A. (2009). Genetic variability in yellow pigment components in cultivated and wild tetraploid wheats. *Journal of Cereal Science*, 50, 210–218. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.05.002>
- Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D., & Nam, S. (2017). Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*, 78, 2–9. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.07.005>
- Fu, B. X., Wang, K., Dupuis, B., Taylor, D., Nam, S. (2018). Kernel vitreousness and protein content: Relationship, interaction and synergistic effects on durum wheat quality. *Journal of Cereal Science*, 79, 210–217. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.09.003>
- Hourston, J. E., Ignatz, M., Reith, M., Leubner-Metzger, G., & Steinbrecher, T. (2017). Biomechanical properties of wheat grains: the implications on milling. *Journal of the Royal Society Interface*, 14(126), 20160828. <https://doi.org/10.1098/rsif.2016.0828>
- Johnson, M., Kumar, A., Oladzaad-Abbasabadi, A., Salsman, E., Aoun, M., Manthey, F. A., & Elias, E. M. (2019). Association mapping for 24 traits related to protein content, gluten strength, color, cooking, and milling quality using balanced and unbalanced data in durum wheat [*Triticum turgidum* L. var. *durum* (Desf.)]. *Frontiers in Genetics*, 10. <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00717>
- Kaliniewicz, Z., Markowska-Mendik, A., Warechowska, M. (2023). An analysis of the correlations between the hardness index and selected physicochemical properties of wheat grain. *Journal of Cereal Science*, 110, 103643. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2023.103643>

# Интенсификация процесса кристаллизации лактозы из сгущенного НФ-концентрата творожной сыворотки

Вологодская государственная  
молочнохозяйственная академия  
имени Н.В. Верещагина, г. Вологда,  
Российская Федерация

Е. А. Фиалкова, А. А. Кузин, Е. В. Славорова,  
В. Б. Шевчук, В. А. Шохалов

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Елена Викторовна Славорова

E-mail: Slavorosova.E.V@2.molochnoe.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Фиалкова, Е. А., Кузин, А. А., Славорова, Е. В., Шевчук, В. Б., & Шохалов, В. А. (2024). Интенсификация процесса кристаллизации лактозы из сгущенного нф-концентрата творожной сыворотки. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 104 - 118. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.3.549>

ПОСТУПИЛА: 11.04.2024

ДОРАБОТАНА: 13.08.2024

ПРИНЯТА: 15.09.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Кристаллизация лактозы для ее отделения от жидкой фракции является ключевым этапом в производстве частично делактозированной деминерализованной сыворотки, которая может применяться в пищевой промышленности. Такая технология позволяет получать два ценных продукта: молочный сахар и частично делактозированную деминерализованную сыворотку, состав которой близок к молоку. Это решение особенно актуально для малых и средних молокоперерабатывающих предприятий, которые ежедневно производят 20–50 тонн сыворотки. В большинстве исследований используется традиционный метод кристаллизации лактозы.

**Цель:** Теоретически и экспериментально обосновать интенсификацию процесса кристаллизации лактозы из сгущенного НФ-концентрата творожной сыворотки путем применения циклических температурных режимов для увеличения выхода молочного сахара.

**Материалы и методы:** Исходный НФ-концентрат имел степень деминерализации  $48 \pm 2\%$ , массовую долю сухих веществ  $55 \pm 0,5\%$ , содержание лактозы –  $79,6\%$ . Экспериментальный образец подвергался циклическому температурному режиму: три шестидесятиминутных охлаждения до  $6-8^\circ\text{C}$  и два пятнадцатиминутных нагрева до  $67^\circ\text{C}$  и  $60^\circ\text{C}$  соответственно. В контрольном образце кристаллизация осуществлялась традиционно. Общее время процессов составило 3,5 часа. Оценивались температура кристаллизата, содержание сухих веществ и масса кристаллизата. В теоретическом исследовании использовались методы анализа, дифференцирования и математического моделирования.

**Результаты:** Анализ процессов теплопередачи, испарения и кристаллизации при циклическом температурном режиме позволил установить математические зависимости между количеством кристаллизованной лактозы, концентрацией сухих веществ и физико-химическими параметрами кристаллизата, зависящими от температуры. Адекватность аналитических зависимостей подтверждена экспериментально. Установлено, что циклический температурный режим увеличивает средний размер кристалла в 4 раза и процент выкристаллизованной лактозы в 1,5 раза по сравнению с контрольным образцом.

**Выводы:** Применение циклического температурного режима в кристаллизации лактозы позволяет повысить ее выход и размер кристаллов, обеспечивая эффективное отделение лактозы и получение частично делактозированной деминерализованной сыворотки. Это решает задачу переработки сыворотки в пищевых целях на малых и средних предприятиях. Перспективы дальнейших исследований включают оптимизацию температурных режимов и циклов, а также разработку методов интенсификации процесса.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

НФ-концентрат; творожная сыворотка; лактоза; циклические температурные режимы кристаллизации; кристаллизация лактозы; нанофильтрация

# Intensification of the Lactose Crystallization Process from Condensed NF-Curd Whey Concentrate

Vologda State Dairy Farming Academy named after N.V. Vereshchagin, Vologda, Russian Federation

Evgenia A. Fialkova, Andrei A. Kusin, Elena V. Slavorosova, Vladimir B. Shevchuk, Vladimir A. Shohalov

## CORRESPONDENCE:

Elena V. Slavorosova

E-mail: Slavorosova.E.V@2.molochnoe.ru

## FOR CITATIONS:

Fialkova, E. A., Kusin, A. A., Slavorosova, E. V., Shevchuk, V. B., & Shohalov, V. A. (2024). Intensification of the lactose crystallization process from condensed NF-curd whey concentrate. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 104-118. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.549>

RECEIVED: 11.04.2024

REVISED: 13.08.2024

ACCEPTED: 15.09.2024

PUBLISHED: 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** The crystallization of lactose to separate it from the liquid fraction is a fundamental process in the production of an innovative product - partially delactosed demineralized whey. This technology implies obtaining two valuable products, namely, milk sugar and partially delactosed demineralized whey, which has a composition close to the composition of milk. This is especially relevant for small and medium-sized dairy processing enterprises that produce 20–50 tons of whey daily. However, most of the research aimed at investigating the crystallization process of lactose rely on the traditional crystallization method.

**Purpose:** To theoretically and experimentally substantiate the intensification of the process of crystallization of lactose from condensed NF concentrate of curd whey using cyclic temperature regimes to increase the yield of milk sugar.

**Materials and Methods:** The initial NF concentrate had a degree of demineralization ( $48 \pm 2$  %), contained a mass fraction of solids ( $55 \pm 0.5$  %), lactose – 79.6 %. The experimental sample was subjected to cyclic temperature treatment, which included three sixty-minute cooling to temperatures of 6–8 °C and two fifteen-minute heating to temperatures of 67 °C and 60 °C, respectively. In the control sample, crystallization was carried out in the traditional way. The total duration of the processes for the experimental and control samples was 3.5 hours. During the experiment, the temperature of crystallize, dry matter content and crystallize mass were determined. Analysis, differentiation and mathematical modeling methods were used for a theoretical part of the study.

**Results:** Analysis of heat transfer, evaporation and crystallization processes under cyclic temperature conditions enabled us to establish mathematical relationships between the amount of crystallized lactose, the concentration of dry substances and the physicochemical parameters of the crystallize, which depend on temperature. The adequacy of analytical dependencies was confirmed experimentally. As a result of experimental studies it is established that at cyclic temperature mode of crystallization the average crystal size increases 4 times and the percentage of crystallized lactose – 1.5 times in comparison with the control sample.

**Conclusion:** The use of cyclic temperature regimes in the crystallization of lactose allows increasing its yield and crystal size, ensuring effective separation of lactose and obtaining partially delactosed demineralized whey. This solves the problem of whey processing for food purposes in small and medium enterprises. Prospects for further research encompass optimization of temperature regimes and cycles, as well as the development of methods for the process intensification.

## KEYWORDS

NF-concentrate; curd whey; lactose; cyclic temperature regimes of crystallization; lactose crystallization; nanofiltration

## ВВЕДЕНИЕ

Наиболее распространенным в мировой практике способом переработки молочной сыворотки является сушка. Сухая сыворотка широко используется в производстве продуктов, обладающих направленным действием, инновационных продуктов питания, БАД-биоаккорректоров, лекарственных и косметических препаратов (Бахолдина и соавт., 2022). Например, введение сывороточных ингредиентов в состав рецептур мороженого, благодаря пенообразующим свойствам сывороточных белков, повышает способность смеси к насыщению воздухом и придает продукту диетические свойства (Симоненкова & Дозорова, 2021; Шохалова и соавт., 2017). Сыворотка решает проблему недостатка микроэлементов в традиционных молочных продуктах, в частности цинка (Blinov et al., 2021).

Распространенными направлениями переработки сыворотки являются получение концентрата сывороточных белков и молочного сахара (Волкова, 2022). Сывороточные белки имеют широкий спектр применения в пищевой промышленности. Например, использование микропартикулята сывороточных белков в технологии полутвёрдых сыров позволяет заместить часть сухих веществ молока и, тем самым, снизить расход молочного сырья (Мельникова & Станиславская, 2019). Напитки с функциональными свойствами, производимые на основе сыворотки, обладающей большим содержанием минорных компонентов, стимулируют усиление иммунитета (Данильчук и соавт., 2020; Новокшанова & Абабкова, 2015). Сыворотка также входит в состав смесей для производства заварных сортов хлеба улучшенного качества (Акулич и соавт., 2021; Boutin 2005). Использование в составе хлеба сывороточных белков, позволяет получить продукт с функциональными свойствами, который может быть использован, например, для профилактики остеопороза (Беляев и соавт., 2020). Для обогащения кондитерских изделий белком, кроме молочного белка используют концентрат сывороточного белка (McSweeney et al., 2022; Ткешелашвили и соавт., 2019). Также белки молочной сыворотки входят в состав продуктов для энтерального питания (Антюшко & Гавалко, 2019) с целью улучшения их аминокислотного состава. Белковые гидролизаты

в составе смесей для детского питания, позволяют получить продукты с гипоаллергенными свойствами (McSweeney et al., 2022; Зорин и соавт., 2020; Костылева и соавт., 2022).

Основной нутриент молочной сыворотки — лактоза нормализует протекание биохимических и микробиологических процессов в организме человека, в частности, поддерживает микробиоценоз в желудочно-кишечном тракте и способствует усвоению микроэлементов (Волкова & Оносовская, 2022). Лактоза представлена в промышленности в виде специального продукта — молочного сахара, который традиционно получают кристаллизацией лактозы из концентрированных сиропов сыворотки (ГОСТ 33567–2015)<sup>1</sup>. Этот продукт пользуется высоким спросом в различных отраслях, особенно в пищевой промышленности, сельском хозяйстве и здравоохранении, но в настоящее время в России практически не производится.

Несмотря на содержание в составе натуральной сыворотки ценнейших компонентов, она имеет ряд недостатков: содержит избыток минеральных солей, лактозы, влаги имеет низкую массовую долю сухих веществ. Для устранения указанных недостатков сыворотку подвергают обработке мембранными методами (электродиализ, нанофильтрация, диафильтрация), выпариванию и сушке. Однако сухая деминерализованная сыворотка (ГОСТ Р 56833–2015)<sup>2</sup> содержит избыточное количество лактозы (до 80 % в пересчете на сухое вещество) и низкое содержание белка (не более 11 %), что не позволяет широко использовать сухую сыворотку в составе традиционных молочных продуктов, имеющих значительно меньшее содержание лактозы и большее содержание белка.

В конце XX века в странах запада с развитой молочной промышленностью появилось новое перспективное направление переработки сыворотки — производство так называемой частично делактозированной сыворотки (partially delactosed whey). Сухая частично делактозированная деминерализованная сыворотка, имеет следующий состав: лактоза — 43,0 %, белок — 33 %, зола — 11,5 %, влага — 7,2 % (Francis, 1971). Сухой продукт с таким соотношением лактозы, белка и золы можно исполь-

<sup>1</sup> ГОСТ 33567–2015.(2016). *Сахар молочный. Технические условия*. М.: Стандартинформ

<sup>2</sup> ГОСТ Р 56833–2015. (2016). *Сыворотка молочная деминерализованная. Технические условия*. М.: Стандартинформ

зывать в производстве традиционных молочных продуктов на том же предприятии, где она получена. Способ получения такой сыворотки предполагает использование высокопроизводительного и энергозатратного оборудования, такого как, вакуум-выпарные аппараты, электродиализные и сушильные установки.

В России самые серьезные проблемы с переработкой сыворотки стоят перед малыми и средними предприятиями с объемами переработки молока менее 50 т в сутки (Свириденко и соавт., 2008). Нами разработан способ производства частично декантаризованной деминерализованной сыворотки, который экономически целесообразно применять на малых и средних молокоперерабатывающих предприятиях. Предложенный способ включает нано- и диафильтрацию исходной сыворотки до содержания сухих веществ 28–30%, выпаривание полученного концентрата (НФ-концентрат) в специальном кристаллизаторе-выпаривателе до 50–55% содержания сухих веществ, последующую кристаллизацию и отделение выкристаллизованной лактозы (Славорова и соавт., 2022).

Процесс кристаллизации является проблематичным с точки зрения оптимизации его технологических режимов. Ввиду сложности процесса кристаллизации из растворов обширные теоретические исследования чаще всего сопоставляются с конкретными экспериментальными данными для каждого кристаллизуемого вещества (Везуб и соавт., 2018; Везуб и соавт., 2019; Везуб и соавт., 2020; Prostomolotov et al., 2020; Простомолотов & Везуб, 2021; Slivchenko et al., 2017; Славянский и соавт., 2019). Процесс кристаллизации лактозы из сгущенной сыворотки осложнен присутствием белков, солей, кислот и т.д. (Mimouni et al., 2005; Гнездилова и соавт., 2012; Гнездилова и соавт., 2013, Dincer, 2014, Goulart & Hartel, 2017; Sunkesula, 2020; Wijayasinghe et al., 2020; Darmali et al., 2021). Однако все исследования проводились при традиционном режиме кристаллизации лактозы, основным недостатком, которого, является малый процент выкристаллизованной лактозы и мелкие кристаллы. Поэтому вопросы, связанные с технологиями интенсификации процесса кристаллизации молочного сахара из лактозосодержащих растворов, таких как молочная сыворотка, молочные и сывороточные пермиаты являются актуальными.

Одним из эффективных способов увеличения среднего размера кристалла является использование циклического температурного режима кристаллизации (Бажал и соавт., 1973; Фиалкова и соавт., 2015), который заключается в попеременном охлаждении, чередующемся с нагреванием кристаллизующегося раствора. В цикле нагревания из-за быстрого растворения мелких кристаллов увеличивается концентрация раствора, благодаря чему, в последующем цикле охлаждения возрастает скорость роста крупных кристаллов, которые не успели раствориться за время нагревания. На эффективность процесса влияет диапазон варьирования температур и частота их колебаний.

Целью данного исследования является теоретическое и экспериментальное обоснование интенсификации процесса кристаллизации лактозы из сгущенного НФ-концентрата творожной сыворотки с применением циклических температурных режимов для увеличения выхода молочного сахара.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось на кафедре технологического оборудования ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА.

### Объекты и материалы

Объектом исследования являлся процесс кристаллизации лактозы, совмещенной с процессом выпаривания НФ-концентрата творожной сыворотки. В качестве предмета исследования был выбран НФ-концентрат (нанофильтрационный концентрат) с массовой долей сухих веществ ( $24 \pm 0,5$ )%, полученный путем обработки творожной сыворотки на пилотной НФ-установке, оснащенной полимерной мембраной с массовой долей отсечки 200 Да при температуре ( $40 \pm 1$ )°С и давлении до ( $26 \pm 0,5$ ) бар. Деминерализованный до ( $48 \pm 2$ )% НФ-концентрат предварительно сгущали до достижения следующих показателей: массовая доля сухих веществ ( $55 \pm 0,5$ )%, лактоза — 79,6%, белок — 13,2%, зола — 3,7% и прочее 3,5% в пересчете на сухое вещество. Исходная сыворотка поставлялась с поточной линии производства творога АО «Учебно-опытный молочный завод» ВГМХА им. Н.В. Верещагина.

## Оборудование

Экспериментальные исследования проводились на лабораторной установке, которая состояла из двух емкостных аппаратов — кристаллизатора-выпаривателя 4 с циклическими температурными режимами (Куленко и соавт., 2016) (Рисунок 1а) и традиционного кристаллизатора 24 с режимом постоянного охлаждения (Рисунок 1б).

Циклический температурный режим осуществлялся попеременной подачей в термостат 3 горячей и холодной воды по трубкам 11 и 12 при перекрытии соответствующих кранов 13 и 14 и сливе отработанной воды через патрубок 5. Кристаллизатор 24 охлаждался холодной водой, поступающей через кран 18 в термостат 19 с тепловой изоляцией 20 и далее сливался по трубке 22. Температура кристаллизата и теплоносителя определялась термометрами 21. Мешалка 25 интенсифицировала тепло- и массообмен в также исключала оседание кристаллов. Температура теплоносителя и кристаллизата определялись с помощью термометров

6. Охлажденный воздух подавался непосредственно в кристаллизат через барботер 15 по воздухопроводу 1 с краном 2, а нагретый — по воздухопроводу 17 с краном 16. Воздушный поток разбивался на отдельные пузырьки 8, где насыщался влагой кристаллизата, что приводило к его выпариванию. Образующийся слой пены 7 обеспечивал дополнительный теплоизоляционный слой верхней открытой части аппарата.

## Методы

Показатели состава и свойств сыворотки определялись стандартизованными методами с использованием приборной базы кафедры технологического оборудования и АО «Учебно-опытный молочный завод» ВГМХА им. Н.В. Верещагина.

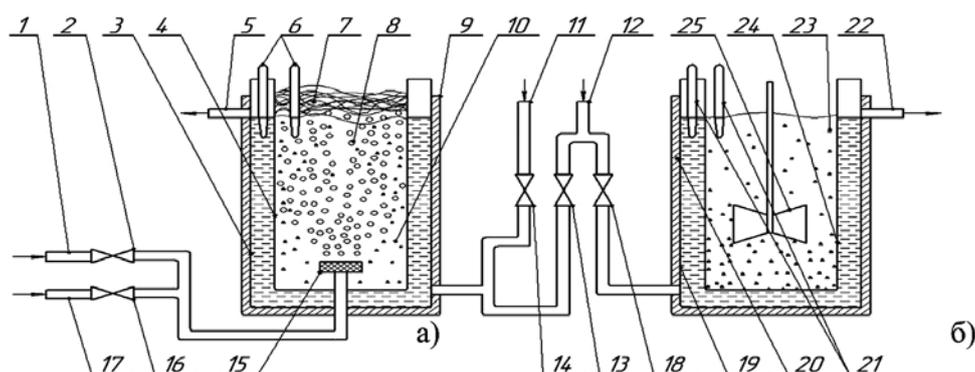
Физико-химические показатели сгущенного НФ-концентрата творожной сыворотки определяли с помощью стандартных методов исследований: массовая доля лактозы определялась методом Бер-

**Рисунок 1**

Экспериментальная установка

**Figure 1**

Experimental Setup



*Примечание.* (а) для реализации циклических температурных режимов кристаллизации лактозы из сгущенной сыворотки, (б) для реализации традиционного режима кристаллизации: 1, 17 — воздухопроводы подачи теплого и холодного воздуха; 2, 13, 14, 16, 18 — запорные вентили; воздухопровод подачи теплого воздуха; 3, 19 — термостаты; 4, 24 — кристаллизаторы; 5, 22 — трубки для отвода теплоносителя из термостата; 6, 21 — термометры; 7 — пена; 8 — пузырьки воздуха; 9, 20 — тепловая изоляция; 10, 23 — кристаллизат; 11 — трубка подачи горячей воды; 12 — трубка подачи холодной воды; 15 — барботер; 25 — мешалка.

*Note.* (a) for implementing cyclic temperature regimes for lactose crystallization from condensed whey, (b) for implementing the traditional crystallization regime: 1, 17 — warm and cold air supply ducts; 2, 13, 14, 16, 18 — shut-off valves; 3, 19 — thermostats; 4, 24 — crystallizers; 5, 22 — pipes for removing the heat carrier from the thermostat; 6, 21 — thermometers; 7 — foam; 8 — air bubbles; 9, 20 — thermal insulation; 10, 23 — crystallized product; 11 — hot water supply pipe; 12 — cold water supply pipe; 15 — sparger; 25 — mixer.

трана (ГОСТР 54667–2011)<sup>3</sup> массовая доля белковых веществ определялась по ГОСТ 34454–2018<sup>4</sup>, массовая доля золы определялась методом озоления (ГОСТ 5901–2014, п.8.3–8.4)<sup>5</sup>. Пробы подготавливались в соответствии с п.6.2 ГОСТ 26809.1–2014<sup>6</sup>. Содержание сухих веществ определялось с помощью рефрактометра RL-3, (PZO, Польша) в соответствии с инструкцией по эксплуатации прибора.

Температура определялась термометрическим методом в соответствии с ГОСТ 26754–85<sup>7</sup>, с помощью термометров типа Checktemp 1 HI98509 Digital Thermometer (Hanna Instruments s.r.l., Румыния), пределы допускаемой абсолютной погрешности  $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ .

Микроскопические исследования проводились на микроскопе OLYMPUSCX31 в комплекте с камерой TourCam U3CMOS18000KPA с программным обеспечением TourView. (Olympus, Япония).

Определение массы кристаллизата в процессе выпаривания проводили гравиметрическим методом по ГОСТ 29245–91<sup>8</sup> методом на весах марки AX324 (Ohaus Instruments (Shanghai) Co., Ltd», КНР).

Для теоретического исследования применялись анализ, метод дифференцирования и математическое моделирование.

## Процедура исследования

Процедура экспериментальных исследований состояла в следующем. НФ-концентрат с начальной температурой  $68^{\circ}\text{C}$  разделялся на два образца — опытный и контрольный, массой по 0,15 кг каждый, один из которых подвергался циклической температурной обработке, а второй охлаждался традиционным способом в течение 3,5 часов. Циклическая обработка опытного образца состояла в его последовательном охлаждении и нагревании. Продолжительность процесса охлаждения составляла один

час, нагревания — 15 минут. Цикл работы включал 3 охлаждения и 2 нагревания. Охлаждение опытного образца осуществлялось холодной водой с температурой  $3\text{--}5^{\circ}\text{C}$  путем теплопередачи и барботированием охлажденного до температуры  $10^{\circ}\text{C}$  воздуха. Нагревание осуществлялось горячей водой с температурой  $70\text{--}75^{\circ}\text{C}$  и подогретым до температуры  $40^{\circ}\text{C}$  воздухом, который барботировался в кристаллизат. Воздух с начальной температурой  $20^{\circ}\text{C}$  поступал из окружающей среды, а затем охлаждался или нагревался до соответствующей температуры и поступал непосредственно в кристаллизат по воздуховодам 17 и 1 (Рисунок 1). Расход воздуха в процессе работы экспериментальной установки уменьшался от  $21 \cdot 10^{-6}$  до  $16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$ , так как барботер засорялся белком и выкристаллизованной лактозой. С помощью барботера 15 воздушный поток преобразовывался в отдельные пузырьки диаметром 1,5–2 мм, за счет чего он приобретал температуру кристаллизата.

В ходе эксперимента фиксировалась температура кристаллизата, содержание сухих веществ в межкристалльном растворе и масса кристаллизата. Температура и содержание сухих веществ в процессе охлаждения измерялись каждые 15 минут, а при нагревании — через 7 и 15 минут от начала процесса. Количество выпаренной влаги определялось по изменению массы кристаллизата в конце каждого цикла. Одновременно с этим производилась микрофотосъемка контрольного и экспериментального образцов.

Процедура теоретических исследований заключалась в следующем. Процесс кристаллизации сгущенного НФ-концентрата молочной сыворотки представляет определенные трудности с точки зрения математического анализа этого процесса. В процессе циклической кристаллизации при изменении температуры изменяются основные физико-химические параметры сгущенного НФ-концентрата: плотность, кинематическая и динамическая вязкость,

<sup>3</sup> ГОСТР 54667–2011. (2012). *Молоко и продукты переработки молока. Методы определения массовой доли сахаров*. М.: Стандартинформ

<sup>4</sup> ГОСТ 34454–2018. (2018). *Определение массовой доли белка методом Кьельдаля*. М.: Стандартинформ

<sup>5</sup> ГОСТ 5901–2014. (2019). *Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли золы и металломагнитной примеси*. М.: Стандартинформ

<sup>6</sup> ГОСТ 26809.1–2014 (2019). *Молоко и молочная продукция. Правила приемки, методы отбора и подготовка проб к анализу. Часть 1. Молоко, молочные, молочные составные и молокосодержащие продукты*. М.: Стандартинформ

<sup>7</sup> ГОСТ 26754–85. (2009). *Молоко. Методы измерения температуры*. М.: Стандартинформ

<sup>8</sup> ГОСТ 29245–91 (2009). *Консервы молочные. Методы определения физических и органолептических показателей*. М.: Стандартинформ

содержание сухих веществ, растворимость лактозы, пересыщение, скорость кристаллизации, количество растворенной и выкристаллизовавшейся лактозы. Кроме того, существенное влияние на процесс оказывает расход воздуха, барботируемого в продукт. Для анализа изменения количества выкристаллизованной лактозы и процентного содержания сухих веществ в межкристалльной жидкости каждый цикл охлаждения и нагревания разбивался на такие интервалы времени  $\Delta\tau$ , в течение которого физические параметры кристаллизата можно условно принять изменяющимися линейно. Расчеты для процесса охлаждения производились при переменном интервале времени  $\Delta\tau$ , который варьировался в пределах от 1 с до 1 минуты, причем минимальный интервал соответствовал максимальной скорости изменения температуры в начале процесса.

В основу теоретических исследований процесса положено уравнение теплового баланса системы:

$$Q_1 - Q_2 + Q_3 = Q_4, \quad (1)$$

где  $Q_1$  – количество теплоты, подводимое к кристаллизату с поступающим в него воздухом, Дж;  $Q_2$  – количество теплоты, отводимое от кристаллизата воздухом выходящим из колонки, Дж;  $Q_3$  – количество теплоты, которое получает кристаллизат от воды за счет теплопередачи, Дж;  $Q_4$  – количество теплоты, которое получает кристаллизат, Дж.

Теоретические результаты получены при анализе процессов теплопередачи, выпаривания и кристаллизации лактозы.

Адекватность результатов теоретических исследований оценивалась путем сравнения с эксперимен-

тальными данными. Достоверность результатов экспериментальных исследований подтверждается 4-х кратной повторяемостью опытов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе проведена сравнительная оценка процессов кристаллизации лактозы в деминерализованном сгущенном НФ-концентрате творожной сыворотки, осуществляемых традиционным способом и при циклических температурных режимах, с сопутствующим выпариванием влаги путем барботирования воздуха. Результаты исследований представлены в виде аналитических и экспериментальных зависимостей.

### Математическая модель

Получены зависимости, позволяющие теоретически оценить количество выкристаллизованной лактозы и проанализировать изменение процентного содержания сухих веществ в межкристалльном растворе с учетом физико-химических параметров кристаллизата. Кроме того, учитывался расход воздуха и его термодинамические свойства.

Температура кристаллизата в конце каждого временного интервала, определялась на основе уравнения теплового баланса (1). Сравнение экспериментальных данных по времени подъема пузырька, с аналитическими данными по изменению его температуры в процессе перемещения в продукте показали, что температуру воздуха на выходе из колонки можно принять равной температуре кристаллизата  $t_k$ :

$$t_k = \frac{(c_v \cdot t_{в.н} + (d_{в.н} - d_{в.к}) \cdot r) \cdot \rho_v \cdot V_1 \cdot \Delta\tau + c_{кр} \cdot m_{кр} \cdot t_n + K_1 \cdot f_1 \cdot \Delta\tau \cdot (t_T - 0,5 \cdot t_n)}{c_v \cdot \rho_v \cdot V_1 \cdot \Delta\tau + c_{кр} \cdot m_{кр} + 0,5 \cdot K_1 \cdot f_1 \cdot \Delta\tau}, \quad (2)$$

где  $c_v$  – удельная теплоемкость воздуха, Дж/(кг·К);  $t_{в.н}$  – температура воздуха на входе в колонку, °С;  $d_{в.н}$  – влажностное содержание воздуха на входе в колонку, кг/кг;  $d_{в.к}$  – влажностное содержание воздуха на выходе из колонки, кг/кг;  $r$  – удельная теплота парообразования, Дж/кг;  $\rho_v$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $V_1$  – объемный расход воздуха, м<sup>3</sup>/с;  $\Delta\tau$  – интервал времени в течение которого физические параметры кристаллизата изменяются по линейной зависимости, с;  $c_{кр}$  – удельная теплоемкость кристаллизата, Дж/(кг·К);  $m_{кр}$  – масса кристаллизата, кг;  $t_n$  – температура кристаллизата на начало промежутка времени  $\Delta\tau$ , °С;  $K_1$  – коэффициент теплопередачи между кристаллизатом и горячей водой, Вт/(м<sup>2</sup>·К);  $f_1$  – площадь поверхности теплопередачи, м<sup>2</sup>;  $t_T$  – температура теплоносителя, °С.

Поскольку целью процесса кристаллизации является наиболее полное отделение лактозы от сыворотки, то наибольший интерес представляет динамика изменения процента выкристаллизованной лактозы в процессе кристаллизации, сопровождающейся выпариванием при циклическом изменении температуры. В процессе циклической кристаллизации пересыщение раствора изменялось циклически. Для того, чтобы исключить влияние этого фактора введено понятие показателя скорости кристаллизации. Показатель скорости кристаллизации [1/ч] — снижение концентрации раствора на единицу пересыщения в единицу времени:

$$\vartheta = \frac{\Delta C}{\Delta \tau \cdot \Delta C_n}, \quad (3)$$

где  $\Delta C$  — снижение концентрации раствора, кг лактозы на 100 кг воды в процентах,  $\Delta C_n$  — пересыщение, кг лактозы на 100 кг воды в процентах.

Тогда масса выкристаллизовавшейся лактозы:

$$m_{кр.л.} = \frac{\Delta C}{100} \cdot m_{в.н} = \frac{\vartheta \cdot \Delta \tau \cdot \Delta C_n}{100} \cdot m_{в.н}. \quad (4)$$

Формулы для расчета величин, входящих в формулу (4), представлены в Таблице 1.

**Таблица 1**

Параметры для определения массы выкристаллизовавшейся лактозы

**Table 1**

Parameters for Determining the Mass of Crystallized Lactose

Название параметра	Формула
Пересыщение, кг лактозы на 100 кг воды в процентах	$\Delta C_n = C - C_{нас}$
Концентрация исследуемого раствора, кг лактозы на 100 кг воды в процентах;	$C = \frac{m_{р.л.н}}{m_{кр.л.} - m_{с.в.}} \cdot 100\%$
Концентрация насыщенного раствора, кг лактозы на 100 кг воды в процентах	$C_{нас} = 11,5 \cdot 10^{0,012t_k}$
Показатель скорости кристаллизации, 1/с	$\vartheta = 9 \cdot 10^{0,045t_k - 6}$

Подставив в формулу (4) параметры из Таблицы 1, получили выражение для определения массы выкристаллизовавшейся лактозы:

$$m_{кр.л.} = \frac{9 \cdot 10^{0,045t_k - 6} \cdot \Delta \tau \cdot \left( \frac{m_{р.л.н}}{m_{кр.л.} - m_{с.в.}} \cdot 100\% - 11,5 \cdot 10^{0,012t_k} \right)}{100} \cdot m_{в.н}, \quad (5)$$

где  $m_{р.л.н}$  — масса растворенной лактозы на начало промежутка времени  $\Delta \tau$ , кг;  $m_{кр.л.}$  — масса кристаллизата на начало промежутка времени  $\Delta \tau$ , кг;  $m_{с.в.}$  — масса сухих веществ в кристаллизате, кг.

Содержание сухих веществ в межкристалльном растворе на конец промежутка времени  $\Delta \tau$  определяется соотношением:

$$C.B. = \frac{m_{р.л.к} + m_{б.} + m_{з.}}{m_{р.л.к} + m_{б.} + m_{з.} + m_{в.к.}} \cdot 100\%, \quad (6)$$

где  $m_{р.л.к}$  — масса растворенной лактозы на конец промежутка времени  $\Delta \tau$ , кг;  $m_{б.}$  — масса белка, кг;  $m_{з.}$  — масса золы, кг;  $m_{в.к.}$  — масса влаги на конец промежутка времени  $\Delta \tau$ , кг.

Переменными параметрами в выражении (6) являются масса растворенной лактозы, которая изменяется в зависимости от количества выкристаллизованной лактозы:

$$m_{р.л.к} = m_{р.л.н} - m_{кр.л.}, \quad (7)$$

и масса влаги в кристаллизате, которая изменяется за счет её ухода или поступления с воздухом:

$$m_{в.к.} = m_{в.н} - (d_{в.к.} - d_{в.н.}) \cdot \rho_v \cdot V_1 \cdot \Delta \tau. \quad (8)$$

## Экспериментальные данные

На Рисунке 2 представлены результаты расчетов и опытные данные по изменению температуры кристаллизата в экспериментальном и контрольном образцах. Расчетные данные представлены с интервалом 5 минут.

Как видно из графика имеет место хорошее совпадение между экспериментальными и теоретическими кривыми. Абсолютная погрешность не превышает 2,5 °С.

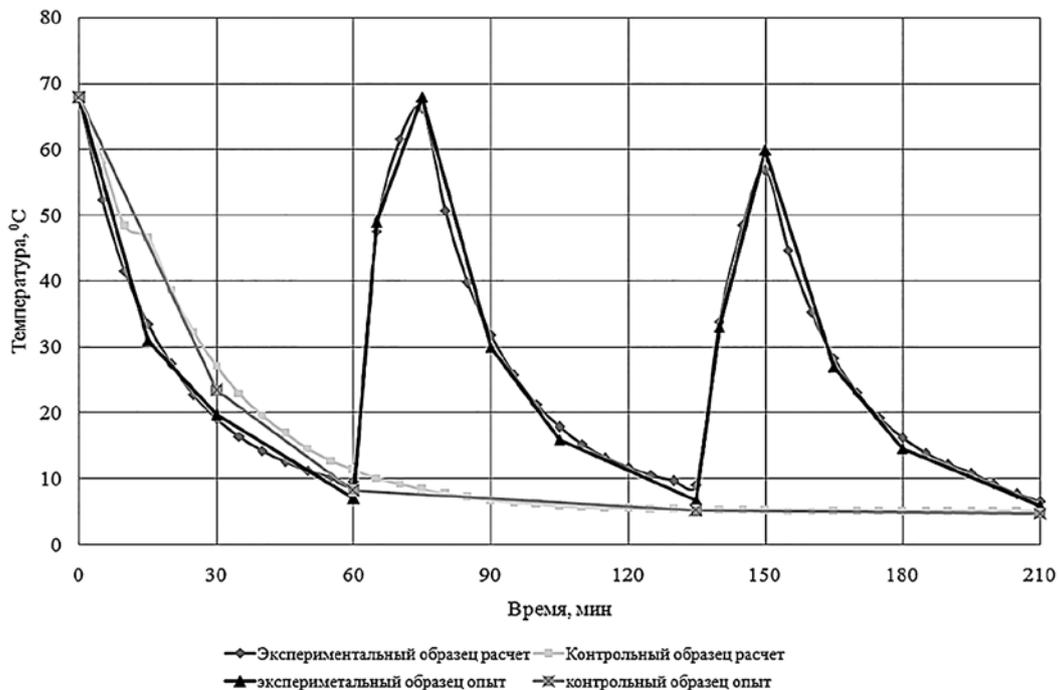
На Рисунке 3 представлены результаты расчетов и опытные данные по содержанию растворенных сухих веществ в кристаллизате при циклическом изменении температуры, представленном на ри-

**Рисунок 2**

Изменение температуры кристаллизата в экспериментальном и контрольном образцах

**Figure 2**

Temperature Changes of Crystallized Product in Experimental and Control Samples

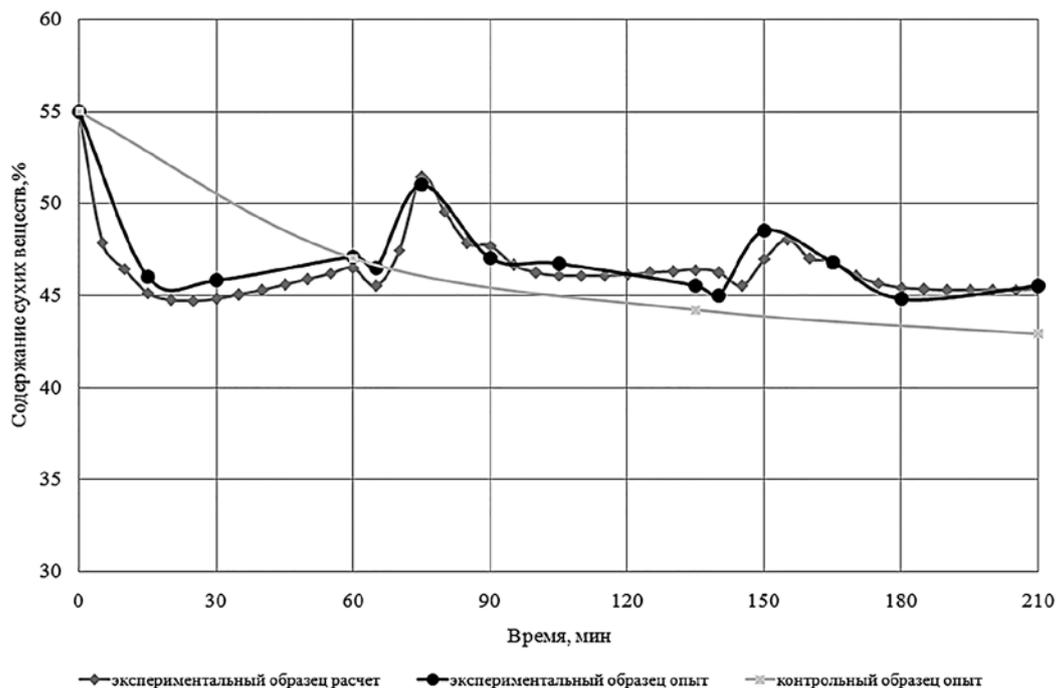


**Рисунок 3**

Изменение содержания растворенных сухих веществ в процессе кристаллизации

**Figure 3**

Changes in Soluble Solids Content During Crystallization Process

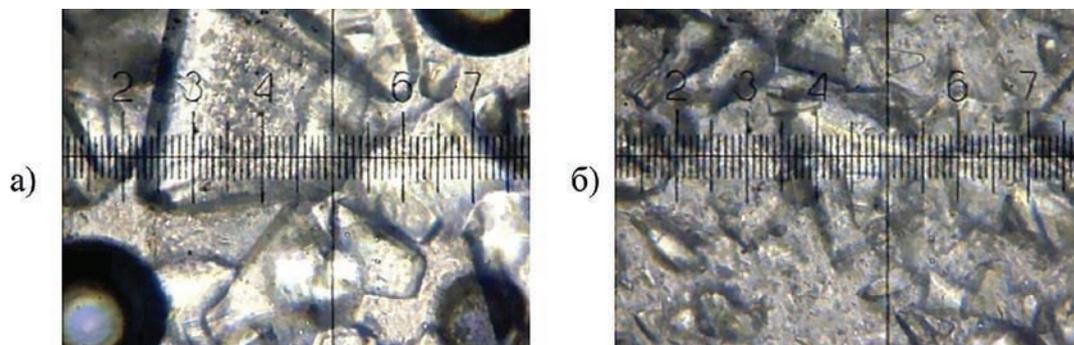


#### Рисунок 4

Микрофотографии кристаллов

#### Figure 4

Micrographs of Crystals



Примечание. (а) экспериментальный образец; (б) контрольный образец:  
1 деление линейки = 6,2мкм.

Note. (a) Experimental sample; (b) Control sample:  
1 scale division = 6.2  $\mu\text{m}$ .

сунке 2. Аналитические данные получены на основании приведенных выше формул (4–8).

В результате процесса циклической кристаллизации масса исходного образца уменьшилась от 0,155 до 0,125 кг, содержание сухих веществ в межкристальном растворе, определяемое по рефрактометру уменьшилось от 55 % до 45,5 %, количество растворенной лактозы уменьшилось с 0,079 кг до 0,023 кг, количество выкристаллизованной лактозы составило 0,056 кг. Для контрольного образца масса в течение всего процесса оставалась неизменной, содержание сухих веществ, определяемое по рефрактометру, уменьшилось от 55 % до 43 %, количество растворенной лактозы уменьшилось с 0,079 кг до 0,042 кг, количество выкристаллизованной лактозы составило 0,038 кг.

На процесс кристаллизации влияет большое количество факторов, таких как параметры кристаллизата (плотность, вязкость, содержание сухих веществ, растворимость лактозы, пересыщение, температура), а также воздуха (расход, температура, влагосодержание). Поэтому изменения массовой доли сухих веществ имеют достаточно сложную закономерность в каждом цикле. Совпадение направлений изменения содержания сухих веществ кристаллизата в аналогичных временных интервалах в опыте и в результате теоретического анализа подтверждает адекватность выдвинутой

математической модели. Абсолютная погрешность по сухим веществам не превышает 1,5 %.

На Рисунке 4 представлены микрофотографии кристаллов для экспериментального и контрольного образцов на конец эксперимента (через 210 минут). Средний размер кристалла в экспериментальном образце составляет 120 мкм, в контрольном образце — 30 мкм. Это является важным фактором в процессе последующего отделения выкристаллизованной лактозы.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Цель исследования, заключающаяся в обосновании возможности интенсифицировать процесс кристаллизации лактозы с использованием циклических температурных режимов, была успешно достигнута. Проведенные эксперименты показали, что применение предложенной методики позволяет увеличить средний размер кристаллов в 4 раза и повысить процент выкристаллизованной лактозы в 1,5 раза по сравнению с традиционными методами. Эти результаты подтверждают эффективность нового подхода, в котором каждый цикл нагревания способствует растворению мелких кристаллов и росту более крупных, а барботирование воздуха повышает концентрацию сухих веществ в растворе.

Анализ температурных режимов показал, что циклические процессы помогают поддерживать высокий уровень пересыщения раствора, что стимулирует образование и рост кристаллов. Присутствие сывороточных белков, обычно осложняющее процесс кристаллизации и уменьшающее размер кристаллов (Mimouni и соавт., 2005), не оказало значительного влияния при использовании циклического режима. Полученные кристаллы достигали среднего размера 120 мкм, что значительно больше по сравнению с традиционным процессом, где размер кристаллов не превышал 30 мкм. Такие результаты согласуются с выводами Wijayasinghe и соавт. (2020) о том, что кислотность и белки могут влиять на размер кристаллов.

Неожиданным результатом исследования стало обнаружение увеличения содержания сухих веществ в межкристалльном растворе к концу каждого цикла охлаждения. Это явление можно объяснить взаимодействием процессов кристаллизации и выпаривания влаги, которые происходили одновременно и определяли конечные параметры раствора. Сходные эффекты описаны в работах Бажалы (1973) и Sunkesula (2020), где также подчеркивается важность учета множества факторов при кристаллизации.

В рамках дальнейших исследований следует изучить возможность использования методов интенсификации, традиционно применяемых при кристаллизации, таких как контроль скорости охлаждения (Pandalaneni и соавт., 2018), внесение затравки (Goulart и Hartel, 2017) и ультразвуковая обработка (Dincer, 2014). Увеличение скорости охлаждения, которое обычно приводит к уменьшению размера кристаллов, при циклических режимах может не иметь этого эффекта благодаря растворению мелких кристаллов при нагревании. Внесение затравки требует дальнейших исследований для адаптации к циклическим режимам, а ультразвуковая обработка представляется перспективной для повышения процента выкристаллизованной лактозы, несмотря на возможное образование мелких кристаллов, как это показано в работе Dincer (2014).

## Ограничения исследования

Настоящее исследование, хотя и подтвердило эффективность применения циклических темпера-

турных режимов для кристаллизации лактозы, имеет несколько ограничений, связанных с особенностями методологии и оборудования. Во-первых, исследование проводилось на лабораторной установке, которая, несмотря на свою функциональность, может не полностью отражать условия промышленных масштабов. Оборудование включало кристаллизатор-выпариватель и традиционный кристаллизатор, использовавшиеся для моделирования процессов. Однако объемы продукта, обрабатываемые в лабораторных условиях, были ограничены, что может влиять на точность экстраполяции данных на производственные установки.

Процедура исследования подразумевала работу с относительно малыми образцами (по 0,15 кг), что также может ограничивать применимость результатов на крупных производствах, где условия тепло- и массообмена иная. Важно отметить, что расход воздуха постепенно снижался из-за засорения барботера белками и выкристаллизованной лактозой, что может вызвать необходимость дополнительных технических решений для обеспечения стабильности процесса в реальных условиях.

Другим важным фактором является сложность описания и анализа всех изменений физических и химических параметров НФ-концентрата в процессе циклической кристаллизации. Параметры, такие как плотность, вязкость, содержание сухих веществ и растворимость лактозы, изменяются с течением времени, что требует сложного математического моделирования. Применение метода линейного приближения изменений параметров в каждом временном интервале хотя и позволяет упростить расчеты, может приводить к некоторым погрешностям, особенно при увеличении продолжительности этих интервалов.

Также стоит отметить ограничения, связанные с температурными режимами. Верхние и нижние пределы температур были выбраны с учетом риска денатурации белков и изменения скорости кристаллизации, что снижает гибкость подхода при адаптации к различным условиям сырья. Применяемая температура нагревания и продолжительность циклов были ограничены, чтобы избежать негативных эффектов на качество продукта и эффективность процесса.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ценность представленных результатов заключается в подтверждении высокой эффективности применения циклических температурных режимов при кристаллизации лактозы из сгущенного НФ-концентрата творожной сыворотки. Эти исследования показывают, что предложенный подход позволяет значительно интенсифицировать процесс, увеличивая средний размер кристаллов и выход лактозы. Оптимизация сложного процесса кристаллизации с использованием аналитических моделей, представленных в данной работе, предоставляет возможность сократить объем трудоемких и длительных экспериментальных исследований, что особенно важно для производственных процессов.

Перспективное применение разработанных методов видится в их адаптации для малых и средних молокоперерабатывающих предприятий. Это позволит получать частично делактозированную деминерализованную сыворотку и молочный сахар, что способствует расширению использования сыворотки в производстве молочной продукции, близкой по составу к натуральному молоку. Молочный сахар, который востребован на рынке и может служить импортозамещающим продуктом, является ценным побочным продуктом, получаемым в ходе данного процесса.

В отличие от известных технологий производства частично делактозированной сыворотки, требующих применения дорогостоящего оборудования и экономически нецелесообразных для малых объемов переработки, предложенный метод циклической кристаллизации может быть интегрирован в предприятия с ограниченными ресурсами. Процессы кристаллизации и отделения лактозы являются ключевыми этапами получения качественной частично делактозированной сыворотки и молочного сахара. Применение циклических режимов позволяет добиться улучшенных характеристик продукта при снижении производственных затрат.

В дальнейших исследованиях целесообразно сосредоточиться на оптимизации температурных

режимов, продолжительности циклов и разработке дополнительных способов интенсификации процесса. Это позволит еще больше повысить эффективность и рентабельность процесса, обеспечивая молокоперерабатывающие предприятия доступными технологиями для расширения спектра производимой продукции.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Евгения Александровна Фиалкова** — формулировка целей и задач исследования, создание рукописи и её редактирование.

**Андрей Алексеевич Кузин** — разработка методологии исследования, руководство исследованием.

**Елена Викторовна Славоросова** — проведение исследования, обработка результатов, написание черновика рукописи.

**Владимир Борисович Шевчук** — редактирование черновика рукописи, визуализация.

**Владимир Алексеевич Шохалов** — валидация и администрирование данных, редактирование черновика рукописи.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Evgenia A. Fialkova:** conceptualization, writing — original draft.

**Andrei A. Kusin:** methodology, supervision.

**Elena V. Slavorosova:** investigation, formal analysis, writing — review & editing.

**Vladimir B. Shevchuk:** writing — review & editing, visualization.

**Vladimir A. Shohalov:** validation, supervision, writing — review & editing.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Акулич, А. В., Самуйленко, Т. Д., & Тимакова, Р. Т. (2021). Разработка компонентного состава сухих композитных смесей для заварных сортов хлеба улучшенной пищевой ценности. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 158–171. <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.240>
- Akulich, A. V., Samuilenko, T. D., & Timakova, R. T. (2021). Development of the component composition of dry composite mixtures for choux pastry bread with improved nutritional value. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 158–171. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2021.240>
- Антюшко, Д. П., & Гавалко, Ю. В. (2019). Оценка пищевой ценности продуктов для энтерального питания. *Вопросы питания*, 88(5), 63–71. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10055>
- Antyushko, D. P., & Gavalko, Yu. V. (2019). Evaluation of the nutritional value of products for enteral nutrition. *Problems of Nutrition*, 88(5), 63–71. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10055>
- Бахолдина, Т. Н., Храмцов, А. Г., Голик, А. Б., Оботурова, Н. П., & Абакумова, Е. А. (2022). Разработка методики получения структурированного десерта на основе композиции сухой деминерализованной сыворотки и арабиногалактана. В Инновационное развитие агропромышленного, химического, лесного комплексов и рациональное природопользование. *Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции* (с. 25–31). Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого.
- Bakholdina, T. N., Khramtstov, A. G., Golik, A. B., Oboturova, N. P., & Abakumova, E. A. (2022). Development of a methodology for obtaining a structured dessert based on a composition of dry demineralized whey and arabinogalactan. In *Innovative Development of the Agro-Industrial, Chemical, and Forestry Complexes and Rational Nature Management. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference* (pp. 25–31). Veliky Novgorod: Yaroslav-the-Wise Novgorod State University. (In Russ.)
- Бажал, И. Г., Дзюбенко, Е. П., & Куреленко, О. Д. (1973). Интенсификация изогидрической кристаллизации при помощи принудительной рекристаллизации. *Журнал прикладной химии*, XLVI(9), 1973–1978.
- Bazhal, I. G., Dzyubenko, E. P., & Kurelenko, O. D. [et al.] (1973). Intensification of isohydric crystallization using forced recrystallization. *Zhurnal Prikladnoi Khimii*, XLVI(9), 1973–1978. (In Russ.)
- Беляев, Н. Г., Тимченко, Л. Д., Ржепаковский, И. В., Писков, С. И., Лодыгин, А. Д., Гапонов, В. И., & Хлебач, Т. С. (2020). Остеопротективный эффект хлеба, обогащенного белком, пищевыми волокнами, кальцием, железом и йодом, при гипостроген-индуцированном остеопорозе у крыс. *Вопросы питания*, 89(6), 58–69. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10079>
- Belyaev, N. G., Timchenko, L. D., Rzhepakovsky, I. V., Piskov, S. I., Lodygin, A. D., Gaponov, V. I., & Khlebak, T. S. (2020). Osteoprotective effect of bread enriched with protein, dietary fiber, calcium, iron, and iodine in rats with hypostrogen-induced osteoporosis. *Problems of Nutrition*, 89(6), 58–69. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10079>
- Березуб, Н. А., Волошин, А. Э., Маноменова, В. Л., & Простомолотов, А. И. (2018). Гидродинамика раствора при скоростном росте кристаллов KDP. *Кристаллография*, 63(2), 302–306. <https://doi.org/10.7868/S0023476118020248>
- Verezub, N. A., Voloshin, A. E., Manomenova, V. L., & Prostomolotov, A. I. (2018). Solution hydrodynamics during the rapid growth of KDP crystals. *Crystallography Reports*, 63(2), 302–306. (In Russ.) <https://doi.org/10.7868/S0023476118020248>
- Березуб, Н. А., Волошин, А. Э., & Простомолотов, А. И. (2019). Гидродинамика и массоперенос при выращивании смешанных кристаллов из раствора. *Кристаллография*, 64(6), 973–978. <https://doi.org/10.1134/S0023476119060250>
- Verezub, N. A., Voloshin, A. E., & Prostomolotov, A. I. (2019). Hydrodynamics and mass transfer in the growth of mixed crystals from solution. *Crystallography Reports*, 64(6), 973–978. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S0023476119060250>
- Березуб, Н. А., Волошин, А. Э., Маноменова, В. Л., & Простомолотов, А. И. (2020). Моделирование процессов гидродинамики и массопереноса при выращивании кристаллов KDP. *Кристаллография*, 65(4), 654–659. <https://doi.org/10.31857/S0023476120040268>
- Verezub, N. A., Voloshin, A. E., Manomenova, V. L., & Prostomolotov, A. I. (2020). Modeling of hydrodynamics and mass transfer processes in the growth of KDP crystals. *Crystallography Reports*, 65(4), 654–659. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0023476120040268>
- Волкова, Т. А. (2022). Комплексная переработка молочной сыворотки. В Актуальные вопросы производства сыра, масла и другой молочной продукции. *Сборник материалов международной научно-практической конференции* (с. 166–169). Углич: *Всероссийский научно-исследовательский институт маслоделия и сыроделия*.
- Volkova, T. A. (2022). Comprehensive processing of whey. In *Current Issues in Cheese, Butter, and Other Dairy Products. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 166–169). Uglich: All-Russian Scientific Research Institute of Butter and Cheese Making. (In Russ.)
- Гнездилова, А. И., Виноградова, Ю. В., & Музыкантова, А. В. (2012). Влияние компонентов молочной сыворотки на процесс зародышеобразования при кристаллизации лактозы. *Молочнохозяйственный вестник*, (3), 27–32.
- Gnezdilova, A. I., Vinogradova, Yu. V., & Muzykantsova, A. V. (2012). Influence of whey components on nucleation during lactose crystallization. *Molochnokhozyaistvenny Vestnik*, (3), 27–32. (In Russ.)

- Гнездилова, А. И., Музыкантова, А. В., & Виноградова, Ю. В. (2013). Влияние белков молочной сыворотки на процесс кристаллизации лактозы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (7), 21–23.
- Gnezdilova, A. I., Muzykantova, A. V., & Vinogradova, Y. V. (2013). Influence of whey proteins on lactose crystallization process. *Storage and Processing of Farm Products*, (7), 21–23. (In Russ.)
- Данильчук, Т. Н., Ефремова, Ю. Г., & Користина, И. В. (2020). Напитки на основе молочной сыворотки и сублиматов проростков растений. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 69–81. <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.305>
- Danilchuk, T. N., Efremova, Y. G., & Koristina, I. V. (2020). Drinks based on whey and sublimates of plant sprouts. *Storage and Processing of Farm Products* (3), 69–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2020.305>
- Зорин, С. Н., Сидорова, Ю. С., & Мазо, В. К. (2020). Ферментативные гидролизаты белков молочной сыворотки и куриного яйца: получение, физико-химическая и иммунохимическая характеристики. *Вопросы питания*, 89(1), 64–68. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10007>
- Zorin, S. N., Sidorova, Y. S., & Mazo, V. K. (2020). Enzymatic hydrolysates of whey and egg proteins: Obtaining, physico-chemical, and immunochemical characteristics. *Problems of Nutrition*, 89(1), 64–68. (In Russ.) <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10007>
- Костылева, Е. В., Середина, А. С., Великорецкая, И. А., Минеева, Д. Т., & Цурикова, Н. В. (2022). Эффективность ферментного препарата на основе нового мутантного штамма *Bacillus subtilis*-96 при гидролизе белков молочной сыворотки и яичного белка. *Вопросы питания*, 91(2), 72–80. <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-2-72-80>
- Kostyleva, E. V., Sereda, A. S., Velikoretskaya, I. A., Mineeva, D. T., & Tsurikova, N. V. (2022). The effectiveness of an enzyme preparation based on a new mutant strain *Bacillus subtilis*-96 in the hydrolysis of whey and egg proteins. *Problems of Nutrition*, 91(2), 72–80. (In Russ.) <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2022-91-2-72-80>
- Куленко, В. Г., Шевчук, В. Б., Славороцова, Е. В., Фиалкова, Е. А. (2016). *Кристаллизатор-выпариватель* (RU2590755C1). Патенты Google. <https://patents.google.com/patent/RU2590755C1/ru>
- Kulenko, V. G., Shevchuk V. B., Slavorosova, E. V., Fialkova, E. A. (2016). *Crystalliser-evaporator* (RU2590755C1). Google Patents. (In Russ.) <https://patents.google.com/patent/RU2590755C1/ru>
- Мельникова, Е. И., & Станиславская, Е. Б. (2019). Применение микропартикулята сывороточных белков в технологии полутвердых сыров. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 129–140. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.199>
- Melnikova, E. I., & Stanislavskaya, E. B. (2019). Application of microparticulated whey proteins in the technology of semi-hard cheeses. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 129–140. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.199>
- Новокшанова, А. Л., & Абабкова, А. А. (2015). Специализированные белковые кисломолочные напитки. *Вопросы питания*, 84(S3), 52–53.
- Novokshanova, A. L., & Ababkova, A. A. (2015). Specialized protein fermented milk drinks. *Problems of Nutrition*, 84(S3), 52–53. (In Russ.)
- Простомолотов, А. И., & Везеуб, Н. А. (2021). Анализ гидродинамики при синтезе кристаллов из водно-солевых растворов. *Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники*, 24(3), 170–175. <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2021-3-170-175>
- Prostromolotov, A. I., & Verezub, N. A. (2021). Analysis of hydrodynamics in the synthesis of crystals from aqueous salt solutions. *Materials of Electronics Engineering*, 24(3), 170–175. (In Russ.) <https://doi.org/10.17073/1609-3577-2021-3-170-175>
- Свириденко, Ю. А., Кравченко, Э. Ф., & Яковлева, О. А. (2008). Использование молочной сыворотки и локальная очистка стоков. *Молочная промышленность*, (11), 58–60.
- Sviridenko, Y. A., Kravchenko, E. F., & Yakovleva, O. A. (2008). Use of whey and local wastewater treatment. *Dairy Industry*, (11), 58–60. (In Russ.)
- Симоненкова, А. П., & Дозорова, Е. А. (2021). Технологические возможности применения молочной сыворотки в технологии мороженого геродиетической направленности. *Ресурсосберегающие технологии при хранении и переработке сельскохозяйственной продукции* (с. 143–151). Орел: Издательство «Картуш».
- Simonenkova, A. P., & Dozorova, E. A. (2021). Technological possibilities of using whey in the production of geriatric ice cream. *In Resource-Saving Technologies in the Storage and Processing of Agricultural Products* (pp. 143–151). Orel: Kartush Publishing House. (In Russ.)
- Славороцова, Е. В., Шевчук, В. Б., Фиалкова, Е. А., Голденшлях, О. Н., & Нечаев, К. А. (2022). Перспективный способ переработки молочной сыворотки. *Молочная промышленность*, (12), 14–16. <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-12-14-16>
- Slavorosova, E. V., Shevchuk, V. B., Fialkova, E. A., Goldenshlach, O. N., & Nechaev, K. A. (2022). A promising method for whey processing. *Dairy Industry*, (12), 14–16. (In Russ.) <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-12-14-16>
- Славянский, А. А., Семенов, Е. В., Грибкова, В. А., & Николаева, Н. В. (2019). Особенности процесса кристаллизации в пересыщенном растворе (на примере сахарного производства). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (3), 138–147. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.171>
- Slavyansky, A. A., Semenov, E. V., Gribkova, V. A., & Nikolaeva, N. V. (2019). Features of the crystallization process in a supersaturated solution (using the example of sugar production). *Storage and Processing of Farm Products*, (3), 138–147. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.171>
- Ткешелашвили, М. Е., Бобожонова, Г. А., & Сорокина, А. В. (2019). Разработка кондитерских изделий обогащенных белком. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 57–65.

- Tkeshelashvili, M. E., Bobozhonova, G. A., & Sorokina, A. V. (2019). Development of protein-enriched confectionery products. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 57–65. (In Russ.)
- Фиалкова, Е. А., Куленко, В. Г., Шевчук, В. Б., Славороцова, Е. В. (2015). Анализ влияния циклического режима работы кристаллизатора с воздушным охлаждением и подогревом на скорость роста кристаллов. *Молочно-хозяйственный вестник*, (1), 87–95.
- Fialkova, E. A., Kulenko, V. G., Shevchuk, V. B., & Slavorosova, E. V. (2015). Analysis of the effect of the cyclic operation of a crystallizer with air cooling and heating on the growth rate of crystals. *MolochnokhozyaistvennyVestnik*, (1), 87–95. (In Russ.)
- Шохалова, В. Н., Кузин А. А., Дыкало Н. Я., Шохалов В. А., & Костюков Д. М. (2014) Наночистота творожной сыворотки: теоретические и практические аспекты. *Молочная промышленность*, (11), 65–66.
- Shohalova, V. N., Kuzin, A. A., Dykalo, N. Ya., Shohalov, V. A., & Kostyukov, D. M. (2014). Nanofiltration of curds whey: Theoretical and practical aspects. *Dairy Industry*, (11), 65–66. (In Russ.)
- Шохалова, В. Н., Кузин, А. А., & Шохалов, В. А. (2016). Реологические характеристики смесей мороженого, содержащих НФ-концентраты творожной сыворотки. *Молочная промышленность*, (5), 66–68.
- Shokhalova, V. N., Kuzin, A. A., & Shokhalov, V. A. (2016). Rheological characteristics of ice cream mixtures containing NF-concentrates of curd whey. *Dairy Industry*, (5), 66–68. (In Russ.)
- Blinov, A. V., Nagdalian, A. A., Blinova, A. A., Gvozdenko, A. A., Raffa, V. V., Oboturova, N. P., Golik, A. B., Maglakelidze, D. G., Siddiqui, S. A., & Ibrahim, S. A. (2021). Investigation of the influence of Zinc-containing compounds on the components of the colloidal phase of milk. *Arabian Journal of Chemistry*, 14(7), 103–229. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2021.103229>
- Boutin, R. (2005). Lactose: The forgotten sugar. Knechtel Laboratories.
- Darmali, C., Mansouri, S., Yazdanpanah, A., & Woo Meng, W. (2021). Cooling crystallization of lactose in the presence of whey protein and lactic acid impurities. *Journal of Food Engineering*, 311, 110729. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2021.110729>
- Dincer, T. (2014). Sonocrystallisation of lactose in concentrated whey. *Ultrasonics Sonochemistry*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2014.03.03>
- Francis, L. H. (1971). *Treatment of whey* (US 3615664 C 19711026). Google Patents. <https://patents.google.com/patent/US3615664A/en>
- Goulart, D. B., & Hartel, R. W. (2017) Lactose crystallization in milk protein concentrate and its effects on rheology. *Journal of Food Engineering*, 212, 97–107. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.05.012>
- McSweeney, P. L. H., Fox, P. F., & Kelly, A. L. (2022). Lactose, water, salts and vitamins. *Advanced Dairy Chemistry* (vol. 3: Volume 3: Lactose, water, salts and minor constituents). Springer Nature.
- Mimouni, A., Schuck, P., & Bouhallab, S. (2005). Kinetics of lactose crystallization and crystal size as monitored by refractometry and laser light scattering: effect of proteins. *Le Lait*, 85(4–5), 253–260. <https://doi.org/10.1051/lait:2005015>
- Pandalaneni, K., & Amamcharla, J. K. (2018). Evaluating the crystallization of lactose at different cooling rates from milk and whey permeates in terms of crystal yield and purity. *Journal of Dairy Science*, 101, 8805–8821. <https://doi.org/10.3168/jds.2018-14846>
- Prostomolotov, A. I., Verezub, N. A., Vasilyeva, N. A., & Voloshin, A. E. (2020). Hydrodynamics and mass transfer during the solution growth of the  $K_2(\text{Co,Ni})(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  mixed crystals in the shapers. *Crystals*, 10, 982–994. <https://doi.org/10.3390/cryst10110982>
- Slivchenko, E. S., Samarskiy, A. P., Isaev, V. N., & Blinichev, V. N. (2017). Stability of supercooling solutions of crystallization systems in classical theory of new phase formation. *ChemChemTech*, 60(5), 88–93. <https://doi.org/10.6060/tcct.2017605.5427>
- Sunkesula, V. (2020). Development of methods to improve lactose recovery from permeate and drying characteristics of Greek Acid Whey [Unpublished dissertation]. *Electronic Theses and Dissertations*.
- Wijayasinghe, R., Bogahawaththa, D., Chandrapala, J., & Vasiljevic, T. (2020). Crystallization behavior and crystal properties of lactose as affected by lactic, citric, or phosphoric acid. *Journal of Dairy Science*, 103, 11050–11061. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18375>

# Перспективы использования сапропеля для выращивания томатов в условиях открытого грунта предгорной зоны Дагестана

Федеральный аграрный научный центр  
Республики Дагестан, г. Махачкала,  
Республика Дагестан

Р. Г. Магомедмирзоева, С. А. Теймуров

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Рамида Гусеновна Магомедмирзоева  
E-mail: ramida\_nii@mail.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Магомедмирзоева, Р. Г., & Теймуров, С. А. (2024). Перспективы использования сапропеля для выращивания томатов в условиях открытого грунта предгорной зоны Дагестана. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 119-132. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.3.544>

ПОСТУПИЛА: 24.02.2024

ДОРАБОТАНА: 21.08.2024

ПРИНЯТА: 15.09.2024.

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Сапрпель, как источник гуминовых соединений, обладает высоким потенциалом для использования в овощеводстве. Его применение способствует улучшению агрофизических свойств почвы, повышению качества рассады томатов и увеличению доступности питательных веществ для растений. Однако исследования, посвященные применению почвогрунтов на основе сапропеля и торфо-сапропелевого субстрата для выращивания томатов в условиях предгорной зоны Дагестана, ранее не проводились.

**Цель:** Изучение влияния использования почвогрунта на основе сапропеля и торфо-сапропелевого субстрата на морфологические, биологические и урожайные показатели детерминантных сортов томата, с целью выявления наиболее перспективных сортов для выращивания в предгорной зоне Дагестана.

**Материалы и методы:** Анализ почвенных и растительных образцов проводился в аналитической лаборатории «Федерального аграрного научного центра Республики Дагестан» в соответствии с ГОСТами. В исследование включались пять детерминантных сортов томатов, выращенных в трех вариантах: 1 – контроль без удобрений, 2 – с использованием сапропеля, 3 – с торфо-сапропелевым субстратом (соотношение 2:1). Почвогрунт на основе сапропеля и торфа использовался в соотношении 3:1. Испытывались пять раннеспелых сортов селекции ФГБНУ «ФНЦО» (ВНИИССОК): Содружество, Благодатный, Восход ВНИИССОК, Северянка и Викинг. Повторность опыта составляла трижды.

**Результаты:** Исследование показало, что средний процент всхожести семян в контрольной группе составлял 77,4 %, в варианте с сапропелем – 87,8 %, а в варианте с торфо-сапропелевым составом – 90,6 %. Морфологический анализ продемонстрировал, что высота центрального стебля у растений, выращенных на почвах с сапропелем и торфо-сапропелевым субстратом, увеличивалась на 14 % до 86 % по сравнению с контролем. Сорт Викинг отличился наибольшей высотой стебля (увеличение на 22 % и 86 % по сравнению с контролем) и количеством боковых побегов (в среднем 18). В среднем максимальное количество плодов на кусте (46,0 шт.) и лучшая урожайность (42,6 т/га) были зафиксированы у сорта Викинг, что превышало показатели других сортов на 1,4–12,8 т/га. Урожайность сортов варьировала от 24,6 до 44,9 т/га.

**Выводы:** Применение сапропеля и торфо-сапропелевого субстрата в составе почвогрунта положительно влияет на морфологические и урожайные показатели томатов и может быть рекомендовано для использования в овощеводстве предгорной зоны Дагестана.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

сапрпель; торфо-сапропелевый субстрат; детерминантные сорта томатов; предгорная зона Дагестана; урожайность; морфологические показатели; биологическая активность; агрофизические свойства почвы; выращивание томатов; качество плодов

# Prospects for the Use of Sapropel for Tomatoes Cultivation in Open Ground Conditions of the Foothill Zone of Dagestan

Federal Agrarian Scientific Center of the Republic of Dagestan, Makhachkala, Republic of Dagestan

Ramida H. Magomedmirzoeva, Samir A. Teymurov

## CORRESPONDENCE:

**Ramida H. Magomedmirzoeva**

E-mail: ramida\_nii@mail.ru

## FOR CITATIONS:

Magomedmirzoeva, R. H., & Teymurov, S. A. (2024). Prospects for the use of sapropel for growing tomatoes in open field conditions of the foothill zone of Dagestan. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 119-132. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.544>

**RECEIVED:** 24.02.2024

**REVISED:** 21.08.2024

**ACCEPTED:** 15.09.2024

**PUBLISHED:** 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** Sapropel, as a source of humic compounds, holds significant potential for its utilization in vegetable cultivation. Its application improves the agrophysical properties of the soil, enhances the quality of tomato seedlings, and increases nutrient availability for plants. However, studies on the use of soil mixtures based on sapropel and peat-sapropel substrates for growing tomatoes in the foothill zone of Dagestan have not been conducted before.

**Purpose:** To study the effect of using soil mixtures based on sapropel and peat-sapropel substrates on the morphological, biological, and yield indicators of determinate tomato varieties to identify the most promising varieties for cultivation in the foothill zone of Dagestan.

**Materials and Methods:** The analysis of soil and plant samples was carried out in the analytical laboratory of the Federal Agrarian Research Center of the Republic of Dagestan according to GOST standards. The study included five determinate tomato varieties grown in three experimental options: 1 – control without fertilizers, 2 – with sapropel, and 3 – with a peat-sapropel mixture (ratio 2:1). The soil mixture based on sapropel and peat was used in a 3:1 ratio. Five early-maturing varieties from the selection of Federal Research Centre of Vegetable Growing (VNISSOK) were tested: Sodruzhestvo, Blagodatny, Voskhod VNISSOK, Severyanka, and Viking. The experiment was repeated three times.

**Results:** The study revealed that the average seed germination rate in the control group was 77.4 %, while in the variant with sapropel it was 87.8 %, and in the peat-sapropel mixture – 90.6 %. Morphological analysis showed that the height of the main stem in plants grown on soil with sapropel and peat-sapropel substrate increased by 14 % to 86 % compared to the control. The Viking variety had the highest stem height (an increase of 22 % and 86 % compared to the control) and the greatest number of lateral shoots (an average of 18). On average, the Viking variety also produced the highest number of fruits per plant (46.0 units) and the best yield (42.6 t/ha), exceeding the yield of other varieties by 1.4–12.8 t/ha. The yield of tomato varieties ranged from 24.6 to 44.9 t/ha.

**Conclusion:** The use of sapropel and peat-sapropel substrate in soil mixtures positively affects the morphological and yield characteristics of tomatoes and can be recommended for vegetable cultivation in the foothill zone of Dagestan.

## KEYWORDS

sapropel; peat-sapropel substrate; determinate tomato varieties; foothill zone of Dagestan; yield; morphological characteristics; biological activity; agrophysical soil properties; tomato cultivation; fruits quality

## ВВЕДЕНИЕ

В растениеводстве гуминовые препараты широко используются в качестве стимуляторов роста растений и адаптогенов, помогающих справляться со стрессами, вызванными отклонениями параметров окружающей среды от оптимальных значений (Безуглова, 2022). Среди потенциальных источников гуминовых соединений особое внимание уделяется сапропелю, органоминеральному веществу, образующемуся в результате биохимической трансформации остатков растительных и животных организмов в пресноводных водоемах. Сапропель является универсальной основой для создания различных удобрений, и его внесение в почву способствует улучшению ее структуры, повышению влажности и аэрируемости, рекультивации и воспроизводству, а также увеличению урожайности и качества продукции (Ежков, 2016; Дегтярева, 2015; Яппаров, 2016).

Особенностью сапропеля является его долговременное действие: эффект его применения сохраняется в течение 3–5 лет. Это делает его важным компонентом для получения экологически безопасной продукции. Сапропель способствует улучшению качества рассады, сокращению продолжительности рассадного периода и повышению доступности питательных веществ для растений (Agafonova, 2015; Canellas, 2019; Obuka, 2018; Olk, 2019; Murunga, 2020; Zanin, 2019). Использование сапропеля в качестве компонента почвогрунта представляет собой эффективный метод для стимулирования роста и развития овощных культур, включая томаты (Nsengumuremyi, 2022).

Сапропель содержит гуминовые кислоты, которые составляют от 5–10% до 60–70% органического вещества и играют ключевую роль в поддержании плодородия почвы (Ежков, 2016; Инишева, 2001). Благодаря своим свойствам сапропель образует устойчивые соединения с фосфатами, предотвращая их фиксацию алюминием и железом, что оптимизирует фосфорное питание растений (Наумова, 2000). Применение сапропеля улучшает агрофизические и агрохимические свойства почвы, способствует активизации почвенной микрофлоры и обеспечивает устойчивый рост растений (Храмцова, 2008; Титова, 2017).

На этапе выращивания рассады закладываются основы будущей урожайности. Исследования показывают, что использование сапропеля повышает устойчивость томатной рассады к неблагоприятным условиям за счет высокого содержания сухих веществ, что обеспечивает более мощное развитие растений (Чолаков, 2005). При правильном внесении сапропеля (60–700 кг на сотку) можно добиться значительного улучшения показателей роста и развития овощных культур (Аутко, 2007).

Актуальность использования сапропеля обусловлена необходимостью диверсификации источников органического удобрения, особенно в условиях снижения масштабов применения минеральных удобрений. Дагестан, благодаря своим почвенно-климатическим условиям, обладает высоким потенциалом для овощеводства, включая промышленное выращивание томатов. При этом важно учитывать агробиологические особенности сортов и условия предгорных территорий (Езаов, 2017).

Применение сапропеля позволяет значительно улучшить плодородие малопродуктивных земель, особенно предгорных и горных территорий. Введение сапропеля как компонента почвогрунта способствует увеличению урожайности и повышению качества сельскохозяйственной продукции, что подтверждено в исследованиях по его применению в различных регионах (Ежков, 2017).

Таким образом, применение сапропеля в почвогрунтах представляет собой перспективное направление для повышения устойчивости и продуктивности томатов. В условиях снижения масштабов внесения традиционных удобрений важно искать альтернативные подходы для улучшения агрофизических свойств почвы и повышения урожайности культур. Это особенно актуально для аграрного сектора Республики Дагестан, где использование сапропеля может стать ключом к устойчивому развитию овощеводства.

Цель текущего исследования: изучить влияние сапропеля на урожайность и морфологические показатели детерминантных сортов томатов в условиях предгорной зоны Дагестана.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на научно-экспериментальном полигоне в предгорной зоне села Ашага-Стал Сулейман-Стальского района Республики Дагестан в 2022–2024 годах на высоте 480–500 м над уровнем моря.

### Объекты исследования

Объектами исследования выступали почвогрунт на основе сапропеля и рассада пяти детерминантных сортообразцов томата (раннеспелых) селекции ФГБНУ «ФНЦО» (ВНИИССОК): (1) Содружество, (2) Благодатный, (3) Восход ВНИИССОК, (4) Северянка, (5) Викинг.

### Методы и инструменты

Анализ почвенных и растительных образцов осуществляли в аналитической лаборатории «ФАНЦ РД» по общепринятым ГОСТам.

Вегетационный опыт заложен на лугово-каштановой среднесуглинистой почве. Химический состав почвы весной 2022–2023 гг. был следующим:  $pH_{H_2O}$  (метод ЦИНАО, ГОСТ 26423–85) — 6,74–7,11), содержание общего азота (по ГОСТ 26107–84) — 45,3–51,2 мг/кг, содержание подвижных форм (метод Мачигина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26205–91)  $P_2O_5$ –23,3–25,6 и  $K_2O$  — 426–544 мг/кг. Общий гумус (метод Тюрина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26213) — 3,57–4,42 %.

### Процедура исследования

Агротехника для сортов томата общепринятая по Республике Дагестан. После сбора урожая предшественника проводили дискование на глубину 8–10 см с одновременным боронованием в меру отрастания сорняков. Осенью в конце сентября была проведена вспашка на глубину 30 см и внесено удобрение, весной проводили боронование, 2 культивации и укладку системы капельного полива. Прополку проводили в рамках борьбы с сорняками. Полив проводили по мере необходимости, поддерживая влажность почвы на уровне 70–80 % НВ, норму полива — 80–100 м<sup>3</sup>/га. Уход за посадка-

ми включал в себя защиту растений от вредителей и болезней. Против вредителей использовали препараты Актеллик, Актара и Искра М, против болезней — Хом, Квадрис и Ридомил Голд.

Схема опыта и изучаемые элементы технологии (Рисунок 1). Сорта томата в 3-х вариантах: 1 — контроль внесенных удобрений, 2 — сапропель и 3 — торфо-сапропелевый состав (соотношение 2:1) по 5-ти сортам томата. Почвогрунт на основе сапропеля и торф+сапропель — в соотношении 3:1 (на 1 кг грунта почвы вносится 350 г сапропель или торф+сапропель).

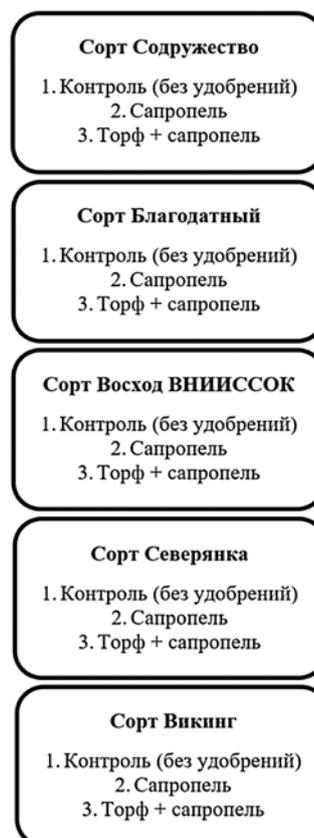
Сорта томата посажены в предгорной зоне коллекционным методом (рассадный способ) открытого грунта. Схема посадки 150 см × 25 см, количество вариантов 3 на 5-ти сортообразцов томата. Общая площадь — 150 м<sup>2</sup>, площадь делянки — 10 м<sup>2</sup>. Повторность — 3-х кратная. Размещение вариантов — систематическая.

Рисунок 1

Схема опыта и изучаемые элементы технологии

Figure 1

Experimental Scheme and Studied Technological Elements



## Анализ данных

Анализ химического состава торфа и сапропеля (в соотношении 2:1) проводился на основании образцов, взятых с участка «Млынок-2» торфяного месторождения Удходва Пружанского района Брестской области, Республика Беларусь. Исследовались следующие параметры:

- (1) Торф низинный (травяной группы), глубина отбора образца 0,5–0,8 м: содержание  $\text{SiO}_2$  – 4,01 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 0,69 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,23 %,  $\text{SO}_3$  – 2,47 %,  $\text{CaO}$  – 1,85 %, массовая доля влаги – 83,0 %,  $\text{pH} (\text{H}_2\text{O})$  – 5,10,  $\text{pH} (\text{KCl})$  – 4,10, массовая доля органического вещества – 94,9 %.
- (2) Сапропель органический, глубина отбора образца 1,5–2,0 м: содержание  $\text{SiO}_2$  – 75,6 %,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 3,74 %,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 8,78 %,  $\text{SO}_3$  – 1,28 %,  $\text{CaO}$  – 24,4 %,  $\text{CO}_2$  – 0,78 %,  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,49 %, массовая доля влаги – 78,9 %,  $\text{pH} (\text{H}_2\text{O})$  – 5,04,  $\text{pH} (\text{KCl})$  – 3,61, массовая доля органического вещества – 90,2 %, содержание общего азота – 6,9 мг/кг, фосфора – 1,4 мг/кг, калия – 1,8 мг/кг.

Метеорологические данные получены с географического пункта Касумкент (широта 41.67, долгота 48.15), расположенный в 4,5 км от места проведения опытов в период роста и развития растений томата. Вегетационные наблюдения велись подекадно каждого месяца (Рисунок 2).

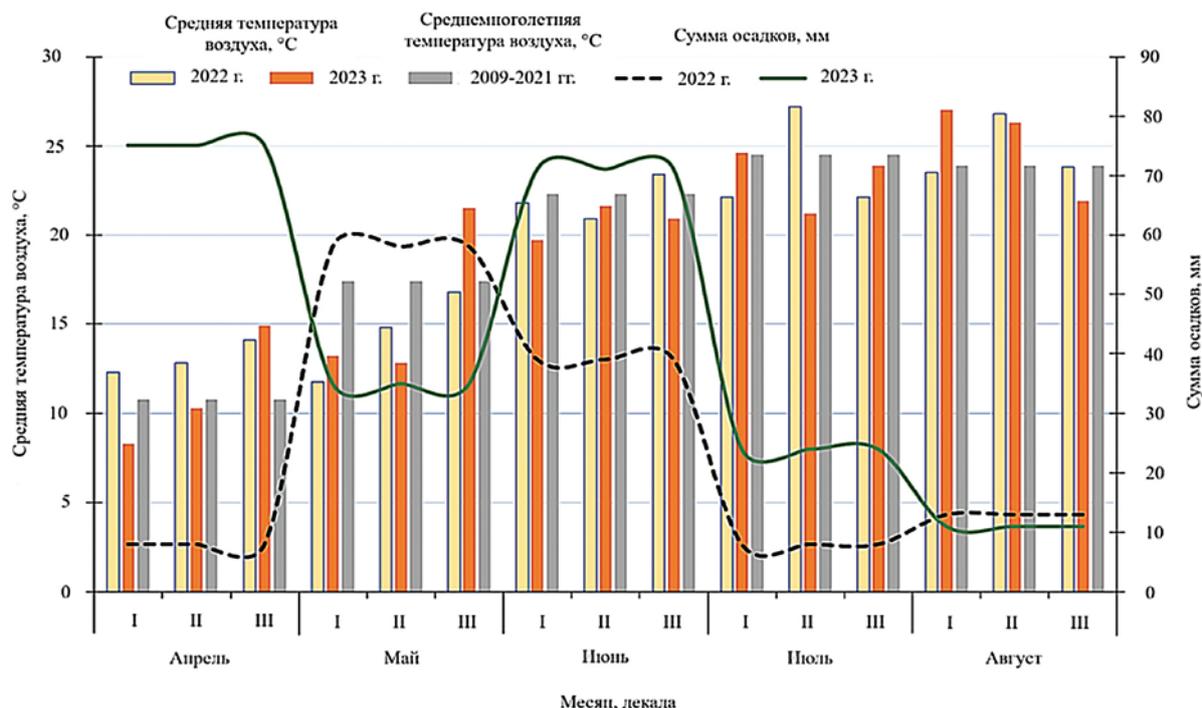
Погодные условия в 2022–2024 годах в весенний период складывались благоприятно для роста и развития растений томата, особенно, в период формирования репродуктивных органов, что положительно сказалось на общей урожайности плодов и коррелирует с продолжительностью вегетационного периода. Однако, в летние месяцы 2022 года средняя температура воздуха в период созревания и сборов плодов томата была выше среднемноголетней – третья декада июня, вторая декада июля и августа), а в 2023–2024 годах – первая и вторая декада августа. В 2022 году средняя температура воздуха в течение вегетационного периода была несколько выше, чем в 2023 году. По количеству суммы осадков наблюдались резкие колебания за этот же период, в 2022 году выпало – 126 мм, в 2023 году – 216 мм. Наибольшее количество осад-

Рисунок 2

Средняя температура воздуха и сумма осадков за вегетационные периоды 2022–2023 гг.

Figure 2

Average Air Temperature and Total Precipitation for the Growing Seasons of 2022–2023



ков выпало в 2022 году в мае — 58 мм, в 2023 году в апреле — 75 мм и июне — 71 мм.

Морфологические, фенологические и биометрические показатели сортообразцов томата оценивались по методикам Госсортсети (Белик, 1992; Федин, 1985) и Литвинова (2011) и «Методическим указаниям по апробации овощных и бахчевых культур» (2018).

Учет урожайности проводился сплошным методом, взвешивание урожая со всей учетной площади делянки с разделением на товарную и не товарную продукцию.

Учет пораженных растений проводили визуально по методике ВИРа.

### Статистический анализ

Статистическая обработка данных НСР<sub>05</sub> по урожайности сортообразцов томата проводилась в соответствии с подходом Доспехова (1985) с использованием программы Microsoft Office Excel 2010.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Биометрические и морфологические показатели сортообразцов томата

Визуальная диагностика условий питания растений позволяет по окраске, форме и размеру листьев и стеблей, а также таких морфометрических показателей, как количество листьев и общая высота растений, выявить влияние сапропеля на рост и развития рассады томата. При исследовании важнейших показателей биологической активности семян томата установлены различия между изучаемыми сортообразцами и вариантами опыта (Таблица 1). При равном внесении количестве семян (12 шт.) применение сапропелей оказывало заметное влияние суточного сокращения прорастание (от посева до массовых всходов) томата по сравнению с контрольным вариантом (на 2–3 сутки), а количество проросших семян на 1–2 шт., соответственно. В среднем по вариантам опыта всех сортов томата прорастание составило 7,2 сутки (НСР<sub>05</sub> — 0,84), а проросших семян 10,1 шт. (НСР<sub>05</sub> — 0,66).

**Таблица 1**

Влияние сапропеля на всхожесть детерминантных сортообразцов томата (в среднем за 2022–2024 г.)

**Table 1**

Effect of Sapropel on the Germination of Determinate Tomato Varieties (Average for 2022–2024)

Вариант опыта	Всходы (дата)	Количество семян, шт.	Прорастание (число суток от посева до массовых всходов)	Количество проросших семян, шт.	Всхожесть семян, %
<i>Содружество</i>					
1. Контроль	16.04	12	9	10	84
2. Сапрпель	16.04	12	7	11	92
3. Торф+Сапрпель	16.04	12	6	11	92
<i>Благодатный</i>					
1. Контроль	14.04	12	9	9	75
2. Сапрпель	14.04	12	6	10	84
3. Торф+Сапрпель	14.04	12	6	11	92
<i>Восход ВНИИССОКа</i>					
1. Контроль	16.04	12	9	8	67
2. Сапрпель	16.04	12	7	10	84
3. Торф+Сапрпель	16.04	12	6	10	84

Окончание Таблицы 1

Вариант опыта	Всходы (дата)	Количество семян, шт.	Прорастание (число суток от посева до массовых всходов)	Количество проросших семян, шт.	Всхожесть семян, %
<i>Северянка</i>					
1. Контроль	16.04	12	8	10	84
2. Сапрпель	16.04	12	7	11	92
3. Торф+Сапрпель	16.04	12	6	11	92
<i>Викинг</i>					
1. Контроль	15.04	12	8	9	75
2. Сапрпель	15.04	12	7	10	84
3. Торф+Сапрпель	15.04	12	6	11	92
<b>В среднем</b>			<b>7,2</b>	<b>16,5</b>	
<b>НСР05</b>			<b>0,84</b>	<b>0,66</b>	

В Таблице 2 представлены результаты показателей морфологических признаков сортообразцов томата по изучаемым элементам технологии. При изучении биометрических показателей рассады установлено, что более высокие показатели отмечаются в варианте 3 (торф+сапрпель). Высота растения в среднем по сортообразцам в сравнении с контрольным вариантом была выше на 43%,

а по числу листьев — на 40%, по завязям и плодам — на 24%. Аналогично прослеживается и в варианте 2 (сапрпель), что выше контрольного варианта соответственно — на 20, 24 и 19%. Внесение сапрпеля и торфо-сапрпелевого состава в почву по сравнению с контрольным опытом создали благоприятные условия формирования морфологии томата, которое закладывает основу для по-

**Таблица 2**

Показатели морфологических признаков детерминантных сортообразцов томата (в среднем за 2022–2024 гг.)

**Table 2**

Morphological Characteristics of Determinate Tomato Varieties (Average for 2022–2024)

Вариант опыта	Высота растения		Разность по высоте, см	Количество боковых побегов, шт.	Количество листьев		Количество листьев до 1-й кисти, шт.	Количество кистей, шт.	Количество кистей и плодов		Созревание плодов (дата)
	см	%			шт.	шт.			шт.	%	
<i>Содружество</i>											
1. Контроль	69	100	—	6	40	100	5	5	53	100	15.08
2. Сапрпель	88	127	19	8	57	143	5	6	60	113	15.08
3. Торф+Сапрпель	92	133	23	11	61	153	6	6	66	125	15.08
<i>Благодатный</i>											
1. Контроль	80	100	—	5	51	100	6	6	63	100	11.08
2. Сапрпель	91	114	11	8	63	124	6	11	67	106	11.08
3. Торф+Сапрпель	110	137	30	13	71	139	7	13	69	109	11.08

Окончание Таблицы 2

Вариант опыта	Высота растения		Разность по высоте, см	Количество боковых побегов,		Количество листьев		Количество листьев до 1-й кисти, шт.	Количество кистей, шт.	Количество кистей и плодов		Созревание плодов (дата)
	см	%		шт.	шт.	%	шт.			%		
<i>Восход ВНИИССОКа</i>												
1. Контроль	67	100	—	5	45	100	5	7	54	100	10.08	
2. Сапрпель	78	116	11	9	58	128	6	9	69	127	10.08	
3. Торф+Сапрпель	90	134	23	11	69	153	7	11	70	129	10.08	
<i>Северянка</i>												
1. Контроль	64	100	—	6	49	100	6	5	53	100	07.08	
2. Сапрпель	77	121	13	10	54	111	7	8	68	128	07.08	
3. Торф+Сапрпель	80	125	16	11	63	128	8	9	68	128	07.08	
<i>Викинг</i>												
1. Контроль	74	100	—	12	48	100	5	11	57	100	14.08	
2. Сапрпель	90	122	16	19	54	113	6	12	70	123	14.08	
3. Торф+Сапрпель	138	186	64	23	61	127	7	13	73	128	14.08	

вышения урожайности и качества плодов томата. Использование сапропеля с торфяным составом по сравнению с контрольным вариантом увеличивало ассимиляционную поверхность листьев томата в среднем листьев — на 18,4 шт., кистей — на 3,6 шт. и боковых побегов — на 7 шт., разность роста составило — на 31,2 см.

### Показатели урожайности и структуры урожая детерминантных сортов томата

Результаты исследований представлены в Таблице 3, Рисунке 3. Исследуемые сорта томата сформировали хорошую урожайность по изучаемым элементам технологии для предгорной зоны с учетом того, что не были использованы минеральные удо-

Таблица 3

Показатели урожайности и структуры урожая детерминантных сортов томата (в среднем за 2022–2024 гг.)

Table 3

Yield Indicators and Crop Structure of Determinate Tomato Varieties (Average for 2022–2024)

Вариант опыта	Вегетационный период, дней	Урожайность, т/га	Товарность, %	Средняя масса 1-го плода, г	Среднее количество плодов с 1-го куста, шт.	Форма плода, окраска	Индекс плода, i
<i>Содружество</i>							
1. Контроль		24,6	77,4	85,4	21	Плоскоокруглая розовая	1,0
2. Сапрпель		31,6	89,0	142,2	45		
3. Торф+Сапрпель	120	33,4	89,6	146,6	49		
<b>В среднем</b>		<b>29,8</b>	<b>85,3</b>	<b>124,7</b>	<b>38,3</b>		
<b>НСР05</b>		<b>0,73</b>	<b>0,32</b>	<b>3,68</b>	<b>7,85</b>		

Окончание Таблицы 3

Вариант опыта	Вегетационный период, дней	Урожайность, т/га	Товарность, %	Средняя масса 1-го плода, г	Среднее количество плодов с 1-го куста, шт.	Форма плода, окраска	Индекс плода, <i>i</i>
<i>Благодатный</i>							
1. Контроль		38,	70,3	83,6	32		
2. Сапрпель		41,8	87,4	102,7	43		
3. Торф+Сапрпель	118	43,5	89,9	110,3	48	Округлая красная	0,6
<b>В среднем</b>		<b>41,2</b>	<b>82,5</b>	<b>98,8</b>	<b>41,0</b>		
<b>НСР<sub>05</sub></b>		<b>0,44</b>	<b>0,60</b>	<b>0,87</b>	<b>5,48</b>		
<i>Восход ВНИИССОКа</i>							
1. Контроль		30,7	75,5	97,7	30		
2. Сапрпель		35,7	88,7	128,8	46		
3. Торф+Сапрпель	114	36,1	88,6	133,2	48	Округлая красная	1,2
<b>В среднем</b>		<b>34,2</b>	<b>84,3</b>	<b>119,9</b>	<b>41,3</b>		
<b>НСР<sub>05</sub></b>		<b>0,47</b>	<b>0,55</b>	<b>4,16</b>	<b>7,11</b>		
<i>Северянка</i>							
1. Контроль		29,5	79,7	98,5	29		
2. Сапрпель		42,7	89,8	114,8	49		
3. Торф+Сапрпель	112	44,7	92,1	118,5	53	Округлая красная	0,8
<b>В среднем</b>		<b>38,9</b>	<b>87,2</b>	<b>110,6</b>	<b>43,6</b>		
<b>НСР<sub>05</sub></b>		<b>0,35</b>	<b>0,53</b>	<b>1,09</b>	<b>8,43</b>		
<i>Викинг</i>							
1. Контроль		38,5	76,7	90,8	35		
2. Сапрпель		44,6	90,2	107,5	48		
3. Торф+Сапрпель	119	44,9	93,4	122,3	55	Округлая оранжевая	0,7
<b>В среднем</b>		<b>42,6</b>	<b>86,7</b>	<b>106,8</b>	<b>46,0</b>		
<b>НСР<sub>05</sub></b>		<b>0,13</b>	<b>0,51</b>	<b>3,00</b>	<b>7,80</b>		

брения. В среднем за годы исследований наибольшее количество плодов с одного куста среди сортов формировал сорт Викинг (46,0 шт.), а средняя масса одного плода у него была наименьшей (107,5 г). Математической обработкой получены достоверные прибавки урожая (НСР<sub>05</sub>) в среднем по сортам томата. Применение сапропеля увеличивало урожай

томата по сравнению с контрольным в среднем по вариантам: сорт Викинг — 42,6 т/га, сорт Благодатный — 41,2 т/га, сорт Северянка — 38,9 т/га, сорт Восход ВНИИССОК — 34,2 т/га и сорт Содружество — 29,8 т/га. Наибольшую продуктивность культуры показал в среднем вариант с торфо-сапрпельным составом — 40,5 т/га.

Рисунок 3

Детерминантные сортообразцы томата выращенные на почвогрунте с сапропелем

Figure 3

Determinate Tomato Varieties Grown on Soil with Sapropel



## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты позволяют заключить, что применение сапропеля и торфо-сапропелевого субстрата положительно повлияло на всхожесть и биометрические показатели томатной рассады, что согласуется с общими представлениями о влиянии гуминовых препаратов на растения (Долгополова, 2016).

Всхожесть семян является ключевым параметром, определяющим качество посадочного материала. Анализ полученных данных (Таблица 1) продемонстрировал, что использование почвогрунтов на основе сапропеля и торфо-сапропелевого субстрата привело к увеличению всхожести семян по сравнению с контрольной группой. Наиболее значительные результаты были отмечены при применении торфо-сапропелевого субстрата, где всхожесть семян увеличилась на 15% по сравнению с контролем. Сапропель также способствовал ускорению прорастания семян: на 6–7-й день после посева наблюдалось прорастание в вариантах с сапропелем, тогда как в контрольной группе этот процесс начинался на 8–9-й день. В среднем всхожесть семян в контрольной группе

составила 77,4%, тогда как в вариантах с сапропелем и торфо-сапропелевым субстратом — 87,8% и 90,6% соответственно (Таблица 2).

Морфологические показатели свидетельствуют о влиянии сапропеля на рост растений. Центральный стебель растений, выращенных на почвах с сапропелем и торфо-сапропелевым субстратом, был выше на 14–86% по сравнению с контрольными образцами. Наиболее высокие результаты были получены для сорта Викинг, у которого высота стебля увеличилась на 22–86%, а среднее количество боковых побегов составило 18 штук.

Урожайность и структура урожая также показали значительное улучшение при использовании сапропеля. Среднее количество плодов на кусте и урожайность (Таблица 3, Рисунок 3) демонстрируют, что сорт Викинг имел лучшие показатели среди изучаемых сортов — 46,0 плодов на куст и урожайность 42,6 т/га. Урожайность этого сорта превысила показатели других сортов, включая Северянку (на 3,9 т/га), Восход ВНИИССОК (на 8,4 т/га), Благодатный (на 1,4 т/га) и Содружество (на 12,8 т/га). Диапазон урожайности сортов в опыте варьировал от 24,6 до 44,9 т/га. Показатели индекса плода

(соотношение вертикали/горизонтали) продемонстрировали стабильность формы, что указывает на надежность применения сапропеля.

Полученные результаты согласуются с выводами ряда предыдущих исследований (Canellas, 2019; Olk, 2019), подтверждающих эффективность использования сапропеля. В частности, положительное влияние сапропеля на биометрические и урожайные показатели томатов коррелирует с результатами, представленными в работах Безугловой и Халецкой (2022), где гуминовые препараты способствовали улучшению роста рассады и общего состояния растений. Аналогичные результаты были выявлены и для других культур, таких как огурец (Бурмистрова и др., 2016) и белокочанная капуста (Ежков и др., 2017), что подчеркивает универсальность и высокую эффективность сапропеля в качестве органоминерального мелиоранта.

### Ограничения исследования

Исследования проводились в условиях одной предгорной зоны, что ограничивает возможность распространения результатов на другие регионы с отличающимися почвенно-климатическими условиями. Кроме того, в исследовании реализовывалось с опорой только на детерминантные сорта томатов, что требует дальнейшего изучения с участием других сортов для полной оценки эффективности сапропеля. Анализ был ограничен временными рамками, и более длительные наблюдения могли бы дать более глубокое понимание влияния сапропеля на почвенные и биологические параметры растений.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данного исследования было изучение влияния применения сапропеля и торфо-сапропелевого субстрата на биометрические, морфологические и урожайные показатели детерминантных сортов томатов в условиях предгорной зоны Дагестана. Использование данных органоминеральных удобрений положительно повлияло на ростовые и про-

дуктивные характеристики томатов. Результаты подтвердили, что внесение сапропеля и торфо-сапропелевого субстрата способствует значительному увеличению биометрических показателей растений. Вариант с торфо-сапропелевым субстратом продемонстрировал наибольшую эффективность по сравнению с контролем и другими вариантами опыта. Исследования показали, что сорт Викинг обеспечил максимальную урожайность (42,6 т/га) среди исследуемых сортов, а сорт Благодатный также проявил высокий потенциал с урожайностью 41,6 т/га. Индекс плода был стабильным у сортов Благодатный и Викинг (0,6 и 0,7 соответственно). Среднее количество плодов на кусте у сорта Викинг составило 46,0 шт., а средняя масса одного плода — 107,5 г. Урожайность по всем вариантам опыта варьировала от 24,6 до 44,9 т/га.

Дальнейшие исследования будут направлены на изучение влияния сапропеля на другие овощные культуры и расширение экспериментов на разные почвенно-климатические зоны, что позволит оценить универсальность и эффективность его применения в аграрной практике.

### АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Рамида Гусеновна Магомедмирзоева:** проведение исследования, курирование данных, верификация данных.

**Самир Агаларович Теймуров:** проведение исследования, разработка методологии исследования, написание рецензирования и редактирование рукописи.

### AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Ramida H. Magomedmirzoeva:** conducting research, data curation, data verification.

**Samir A. Teimurov:** conducting research, developing research methodology, writing- review and editing.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Антонова, О.И., & Рейнер, П.А. (2000). Торфо-гуминовые удобрения в Алтайском крае. *Агрохимический вестник*, 2, 36–39.
- Antonova, O.I., & Rayner, P.A. (2000). Peat-humic fertilizers in the Altai Territory. *Agrochemical Herald*, 2, 36–39.
- Аутко, А.А. (2007). Состояние и перспективы развития тепличного овощеводства в Республике Беларусь. *Теплицы России*, 4, 22–23.
- Autko, A.A. (2007). The state and prospects of greenhouse vegetable growing in the Republic of Belarus. *Greenhouses of Russia*, 4, 22–23.
- Аутко, А.А., & Козловская, И.П. (2005). Комбинированная система питания томата при малообъемной культуре. *Овощеводство и тепличное хозяйство*, 1, 27–29.
- Autko, A.A., & Kozlovskaya, I.P. (2005). A combined tomato nutrition system for low-volume crops. *Vegetable Growing and Greenhouse Farming*, 1, 27–29.
- Безуглова, О.С., & Халецкая, Г.Ю. (2022). Влияние гуминовых препаратов из сапропеля на овощные культуры. *АгроЭкоИнфо*, (5), 1–9. <https://doi.org/10.51419/202125537>
- Bezuglova, O.S., & Khaletskaya, G.Y. (2022). The effect of humic preparations from sapropel on vegetable crops. *AgroEcoInfo*, (5), 1–9. <https://doi.org/10.51419/202125537>
- Белик, В.Ф. (1992). *Методика опытного дела в овощеводстве и бахчеводства*. Москва: Агрпромиздат.
- Belik, V.F. (1992). *The methodology of experimental business in vegetable growing and melon growing*. Moscow: Agropromizdat.
- Бурмистрова, Т.И., Алексеева, Т.П., Трунова Н.М., & Касимова, Л.В. (2016). Оценка применения грунта на основе сапропеля при выращивании рассады огурца. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 6(140), 15–18.
- Burmistrova, T.I., Alekseeva, T.P., Trunova N.M., & Kasimova, L.V. (2016). Assessment of the use of sapropel-based soil in the cultivation of cucumber seedlings. *Bulletin of the Altai State Agricultural University*, 6(140), 15–18.
- Бурмистрова, Т.И., Сысоева, Л.Н. Алексеева, Т.П., & Трунова, Н.М. (2012). Исследование эффективности применения органоминеральных удобрений при выращивании картофеля. *Достижения науки и техники АПК*, 5, 32–33.
- Burmistrova, T.I., Sysoeva, L.N. Alekseeva, T.P., & Trunova, N.M. (2012). Investigation of the effectiveness of the use of organomineral fertilizers in potato cultivation. *Achievements of Science and Technology in Agribusiness*, 5, 32–33.
- Васильев, А.А. (2014). Влияние сапропелей на урожайность картофеля и плодородие выщелоченных черноземов. *Пермский аграрный вестник*, 1(5), 3–9.
- Vasiliev, A.A. (2014). The effect of sapropels on potato yield and fertility of leached chernozems. *Perm Agrarian Journal*, 1(5), 3–9.
- Дегтярева, И.А., Мотина, Т.Ю., Давлетшина, А.Я., Ежкова, Д.В., & Зарипова С.К. (2015). Влияние влажности почв на жизнеспособность микроорганизмов, входящих в состав комплексного биоудобрения. *Вестник технологического университета*, 18(12), 201–204.
- Degtyareva, I.A., Motina, T.Yu., Davletshina, A.Ya., Ezhkova, D.V., & Zaripova S.K. (2015). The effect of soil moisture on the viability of microorganisms that are part of a complex biofertilizer. *Herald of Technological University*, 18(12), 201–204.
- Долгополова, Н.В., & Пигорев, И.Я. (2016) Влияние различных концентраций минеральных комплексных соединений на томат тепличный. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, 9, 108–113.
- Dolgopolova, N.V., & Pigorev, I.Ya. (2016) The effect of different concentrations of mineral complex compounds on greenhouse tomatoes. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 9, 108–113.
- Долгополова, Н.В., Пигорев, И.Я., & Медведев, А.В. (2016). Оптимизация минерального питания томата в защищенном грунте Центрального Черноземья. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, 1, 48–53.
- Dolgopolova, N.V., Pigorev, I.Ya., & Medvedev, A.V. (2016). Optimization of tomato mineral nutrition in the protected soil of the Central Chernozem region. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, 1, 48–53.
- Доспехов, Б.А. (1985). *Методика полевого опыта*. Москва: Агрпромиздат.
- Dospekhov, B.A. (1985). *The methodology of field experience*. Moscow: Agropromizdat.
- Ежков, В.О., Газизов, Р.Р. Яппаров, И.А., Биккинина, Л.М.-Х., Ежкова, Д.В., Яппаров, Д.А., & Файзрахманов Р.Н. (2017). Влияние сапропеля на агрохимические показатели почвы, урожайность и качество овощных культур. *Вестник технологического университета*, 6(20), 127–130.
- Yezhkov, V.O., Gazizov, R.R. Yapparov, I.A., Bikkinina, L.M.-H., Yezhkova, D.V., Yapparov, D.A., & Fayzrakhmanov R.N. (2017). The effect of sapropel on agrochemical soil parameters, yield and quality of vegetable crops. *Herald of Technological University*, 6(20), 127–130.
- Ежков, В.О., Файзрахманов, Р.Н., Семакина, Е.В., Ежкова, Д.В., & Ежкова, А.М. (2016). Наноструктурный сапропель: изготовление, изучение физико-химических свойств и определение безопасных доз применения. *Вестник технологического университета*, 20(19), 172–176.
- Yezhkov, V.O., Fayzrakhmanov, R.N., Semakina, E.V., Yezhkova, D.V., & Yezhkova, A.M. (2016). Nanostructured sapropel: manufacture, study of physico-chemical

- properties and determination of safe doses of application. *Herald of Technological University*, 20(19), 172–176.
- Ежкова, Д.В., Сидоров, В.В., Газизов, Р.Р., & Дегтярева, И.А. (2016). Влияние осадков сточных вод на урожайность яровой пшеницы. *Сборник материалов XV Международной конференции молодых ученых: «Пищевые технологии и биотехнологии»* (с. 167–169). Казань: Бриг.
- Yezhkova, D.V., Sidorov, V.V., Gazizov, R.R., & Degtyareva, I.A. (2016). The effect of wastewater precipitation on the yield of spring wheat. *Collection of materials of the XV International Conference of Young Scientists: "Food technologies and biotechnologies"* (p. 167–169). Kazan: Brig.
- Езаов, А.К., Ханиева, И.М., Кишев, А.Ю., Шибзухов, З.С. & Жеруков, Т.Б. (2017). Сравнительное сортоизучение томата в условиях предгорной зоны Кабардино-Балкарии. *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова*, 3(17), 6–12.
- Ezaov, A.K., Khanieva, I.M., Kisev, A.Yu., Shibzukhov, Z.S. & Zherukov, T.B. (2017). Comparative variety study of tomatoes in the conditions of the foothill zone of Kabardino-Balkaria. *Izvestia of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov*, 3(17), 6–12.
- Инишева, Л.И., & Михантьева, Л.С. (2001). Болотные ресурсы и основные направления развития сапропелоторфодобывающей и перерабатывающей промышленности. *Роль минерально-сырьевой базы Сибири в устойчивом функционировании плодородия почв* (с. 14–20). Красноярск: КНИИГиМ.
- Inisheva, L.I., & Mikhantjeva, L.S. (2001). Swamp resources and the main directions of development of sapropel peat extraction and processing industry. *The role of the mineral resource base of Siberia in the sustainable functioning of soil fertility* (с.14–20). Krasnoyarsk: KNIIGiM.
- Кильчевский, А.В., & Скорина, В.В. (2005). *Селекция гетерозисных гибридов томата*. Горки: БГСХА.
- Kilchevsky, A.V., & Skorina, V.V. (2005). *Selection of heterotic tomato hybrids*. Gorki: BGSNA.
- Кондратьева, И. Ю. (2010). *Частная селекция томата*. Москва: ВНИИССОК.
- Kondratieva, I. Y. (2010). *Private tomato breeding*. Moscow: VNISSOK.
- Литвинов, С.С. (2011). *Методика полевого опыта овощеводстве*. Москва: ГНУ ВНИИО.
- Litvinov, S.S. (2011). *The methodology of field experience in vegetable growing*. Moscow: GNU VNIIO.
- Наумова, Г.В., Жмакова, Н.А., & Овчинникова, Т.Ф. (2000). Об эффективности использования препаратов гуминовой и меланоидиновой природы в качестве добавок к новым формам минеральных удобрений. *Природопользование*, 6, 136–138.
- Naumova, G.V., Zhmakova, N.A., & Ovchinnikova, T.F. (2000). On the effectiveness of using humic and melanoidin preparations as additives to new forms of mineral fertilizers. *Environmental Management*, 6, 136–138.
- Скорина, В.В. (2023). Использование комплексных удобрений при выращивании томата в защищенном грунте. *Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии*, 1, 84–87.
- Skorina, V.V. (2023). The use of complex fertilizers when growing tomatoes in protected soil. *Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*, 1, 84–87.
- Титова, В.И. (2017). Понятие агрохимикатов, современные тренды их применения в отрасли земледелия АПК России. *Агрохимический вестник*, 2, 6–9.
- Titova, V.I. (2017). The concept of agrochemicals, modern trends in their application in the agricultural sector of the agro-industrial complex of Russia. *Agrochemical Herald*, 2, 6–9.
- Федин, М.А. (1985). *Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур*. Москва: Министерство сельского хозяйства СССР.
- Fedin, M.A. (1985). *The methodology of the state variety testing of agricultural crops*. Moscow: Ministry of Agriculture of the USSR.
- Храмцов, И.Ф., Воронкова, Н.А., Мансапова, А.И., & Хамова, О.Ф. (2008). Эффективность применения сапропеля в земледелии Омской области. *Сапропель и продукты его переработки: Международная научно-практическая конференция* (с. 15–17). Омск: ОмГАУ.
- Khramtsov, I.F., Voronkova, N.A., Mansapova, A.I., & Khamova, O.F. (2008). The effectiveness of sapropel application in agriculture of the Omsk region. *Sapropel and its processed products: International Scientific and Practical Conference* (pp. 15–17). Omsk: OmGAU.
- Чолаков, Д., Петкова, В., & Христова, Д. (2005). Оптимизация азотного удобрения при выращивании ранних помидоров в неотапливаемых пластиковых домах с помощью гранул, содержащих сапропель и модифицированные полимеры. *Сборник трудов конференции «Агро-Эко»* (с. 25–27). Пловдив: Пловдивский сельскохозяйственный университет.
- Cholakov, D., Petkova, V., & Hristova, D. (2005). Optimization of nitrogen fertilizer when growing early tomatoes in unheated plastic houses using pellets containing sapropel and modified polymers. *Collection of reports of the Conference "Agro-Eco"* (p. 25–27). Plovdiv: Plovdiv Agricultural University.
- Яппаров, И.А., Суханова, И.М., Газизов, Р.Р., Биккинина, Л.М.Х., & Ильясов, М.М. (2016). Воздействие водных органоминеральных суспензий и их наноструктурных аналогов на урожайность гречихи. *Вестник технологического университета*, 19(16), 174–176.
- Yapparov, I. A., Sukhanova, I. M., Gazizov, R. R., Bikkinina, L. M.-H., & Ilyasov, M. M. (2016). Effects of aqueous organomineral suspensions and their nanostructured analogues on buckwheat yield. *Vestnik Kazanskogo Tehnologičeskogo Universiteta*, 19(16), 174–176.
- Агафонов, Л., Алсина, И., Соловьев, Г., Коврик, С., Бамбалов, Н., Апсе, Ю., & Рак, М. (2015). New kinds of sapropel and peat-based fertilizers. *Environment. Technology. Resources*, 2, 20–26. <http://dx.doi.org/10.17770/etr2015vol2.271>

- Canellas, L. P., Olivares, F. L., Canellas, N. O. A., Mazzei, P., & Piccolo, A. (2019). Humic acids increase the maize seedlings exudation yield. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture Chem*, 6(3), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s40538-018-0139-7>
- Murunga, S., Wafula, E.N., & Sang J. (2020). The use of freshwater sapropel in agricultural production: A new frontier in Kenya. *Advances in Agriculture*, 3, 1–7. <http://dx.doi.org/10.17770/etr2015vol2.271>
- Nsengumuremyi, D., Havugimana, S., & Barakova N.V. (2022). The contribution of humic substances in improving agriculture and livestock sector in african great lakes region: A review. *Humus and Humic Substances – Recent Advances*, 5. <https://doi.org/10.5772/intechopen.107526>
- Obuka, V., Boroduskis, M., Ramata-Stunda, A., Klavins L., & Klavins, M. (2018). Sapropel processing approaches towards high added-value products. *Agronomy Research*, 16(S1), 1142–1149. <https://doi.org/10.15159/AR.18.11>
- Olk, D. C., Bloom, P. R., Perdue, E. M., McKnight, D. M., Chen, Y., Farenhorst, A., Senesi, N., Chin, Y.-P., Schmitt-Kopplin, P., Hertkorn, N., & Harir, M. (2019). Environmental and agricultural relevance of humic fractions extracted by alkali from soils and natural waters. *Journal of Environmental Quality*, 48(2), 217–232. <https://doi.org/10.2134/jeq2019.02.0041>
- Zanin, L., Tomasi, N., Cesco, S., Varanini, Z., & Pinton, R. (2019). Humic substances contribute to plant Iron nutrition acting as chelators and biostimulants. *Frontiers in Plant Science*, 10, 675. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00675>

# Подход к автоматизации и цифровому контролю содержания ферропримесей в пищевых ингредиентах

МИРЭА – Российский технологический университет, г. Москва, Российская Федерация

М. Н. Полисмакова, А. А. Сандуляк, Н. В. Соловьев, Д. А. Сандуляк, А. В. Сандуляк, В. А. Ершова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Анна Александровна Сандуляк  
E-mail: sandulyak\_a@mirea.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Сандуляк, А. А., Полисмакова, М. Н., Соловьев, Н. В., Сандуляк, Д. А., Сандуляк, А. В., & Ершова, В. А. (2024). Подход к автоматизации и цифровому контролю содержания ферропримесей в пищевых ингредиентах. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 133-143. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.592>

ПОСТУПИЛА: 20.03.2024

ДОРАБОТАНА: 05.09.2024

ПРИНЯТА: 15.09.2024

ОПУБЛИКОВАНА: 30.09.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Госзадания в сфере науки (проект FSFZ-2024-0005).



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Одним из показателей качества муки, круп, сахара и многих других пищевых сред является содержание в них ферропримесей. Существующие методы соответствующего контроля (в том числе приведенные во многочисленных ГОСТах) как правило, заключаются в проведении трех операций-циклов магнитного извлечения ферропримесей, их накопления и определения суммарной массы. Однако при проведении ограниченного (даже повышенного) числа таких операций в пробе исследуемого продукта всегда остается некая неизвлеченная, зачастую значительная, масса частиц, что обуславливает значимую погрешность контроля.

**Цель:** Представить результаты апробации созданного авторами прибора-анализатора – с возможностями автоматизации и цифрового контроля содержания ферропримесей, позволяющий оперативно получать более объективный результат по сравнению с существующими методами контроля.

**Материалы и методы:** При апробации прибора экспериментально получали массово-операционную зависимость убывания содержания ферропримесей для каждой исследуемой пробы: по мере их магнитного извлечения из продукта, далее находили ее математический вид – для дальнейшей экстраполяции и расчета суммарной массы. В качестве объекта исследования использованы пробы таких пищевых продуктов как мука, солод, чай.

**Результаты:** Представлен создаваемый лабораторный образец прибора-анализатора и описан принцип его работы, а также результаты его тестирования. Согласно результатам тестирования прибора-анализатора полученные значения по содержанию ферропримесей в исследуемых пробах значительно превышают нормируемые значения, что обязывает принимать соответствующие решения по удалению такого рода примесей из изучаемых продуктов.

**Выводы:** Созданный прибор-анализатор может иметь широкое применение в пищевой отрасли для оперативного и достоверного контроля ферропримесей в различных пищевых ингредиентах.

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ферропримеси; контроль ферропримесей в пищевых ингредиентах; операционные массы ферропримесей; прибор-анализатор

# An Approach to Automation and Digital Control of Ferroimpurities in Food Ingredients

MIREA – Russian Technological University, Moscow, Russia

Maria N. Polismakova, Anna A. Sandulyak, Nikita V. Soloviev, Darya A. Sandulyak, Alexander V. Sandulyak, Vera A. Ershova

## CORRESPONDENCE:

Anna A. Sandulyak

E-mail: sandulyak\_a@mirea.ru

## FOR CITATIONS:

Sandulyak, A. A., Polismakova, M. N., Soloviev, N. V., Sandulyak, D.A., Sandulyak, A. V., & Ershova, V. A. (2024). An approach to automation and digital control of ferroimpurities in food ingredients. *Storage and Processing of Farm Products*, 32(3), 133-143. <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.592>

RECEIVED: 20.03.2024

REVISED: 05.09.2024

ACCEPTED: 15.09.2024

PUBLISHED: 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.

## FUNDING

This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project FSFZ-2024-0005).

## ABSTRACT

**Introduction:** One of the quality indicators of flour, cereals, sugar and many other food products is the content of ferroimpurities. Current methods of appropriate control (including those given in numerous standards), as a rule, encompass three operations of magnetic extraction of ferroimpurities, their accumulation and determination of the total mass. However, with a limited (even increased) number of such operations, a certain unrecovered, often significant, particle mass always remains in the sample of the test product, which leads to an error in the control.

**Purpose:** To present the approbation results of the analyzer created by the authors with the capabilities of automation and digital control of the content of ferroimpurities content, leading to quickly obtaining a more objective result compared to existing control methods.

**Materials and Methods:** We experimentally obtained a mass-operational dependence of the decrease in the content of ferroimpurities: as they were magnetically extracted from the product, then we found its mathematical dependence - for further extrapolation and calculation of the total mass. As an object of research, samples of such food products as flour, malt, tea were utilized.

**Results:** The developed laboratory sample of the analyzer and the principle of its operation and test are described. Considering the results of testing the analyzer, the obtained values for the content of ferroimpurities in the test samples significantly exceed the standardized values, which substantiates appropriate decisions on the removal of such impurities from the studied products.

## KEYWORDS

ferroimpurities; control of ferroimpurities in food ingredients; mass-operational dependence; analyzer



## ВВЕДЕНИЕ

Анализ информации, связанной с наличием (по объективным и субъективным причинам) ферропримесей в самых разных промышленных (Hu et al., 2024; Koukabi et al., 2012; Macián et al., 2006; Xue et al., 2022), в том числе и пищевых, средах (Глебов и соавт., 2010; Зверев и соавт., 2008, Мурашов и соавт., 2019; Невзоров и соавт., 2012; Носова с соавт., 2023; Масюткин, 2016; Фазуллина и соавт., 2020), исследованием их гранулометрического состава и магнитных свойств (Agarwal et al., 2003; Cuerva et al., 2022; Gao et al., 2012; Goncalves et al., 2024; Jia et al., 2018; Liu et al., 2021; Tandon et al., 2006; Toneguzzo et al., 2006), для последующего эффективного извлечения этих примесей из среды (предпочтительно — посредством высокоградиентной сепарации (Li et al., 2019; Kheshti et al., 2019; Singh et al., 2015; Shin et al., 2004; Tripathy et al., 2017; Wang et al., 2019; Wang et al., 2020; Xue et al., 2020; Xue et al., 2022; Ye et al., 2023) — указывает на масштабность этой проблемы.

Одним из показателей качества пищевых продуктов является нормативное содержание в них разного рода примесей<sup>1</sup> (Глебов и соавт., 2010; Зверев и соавт., 2008; Масюткин, 2016; Мурашов и соавт., 2019; Невзоров и соавт., 2012; Носова и соавт., 2023; Фазуллина и соавт., 2020), в частности ферропримесей (металломагнитных примесей) (Trafialek et al., 2016). Для их контроля используется метод,

предусматривающий многократное магнитное извлечение ферропримесей из слоя пробы этой среды: наиболее часто рекомендуется проводить три (как бы приемлемые по числу) операции-цикла, накапливая извлекаемые ферропримеси и определяя их суммарную массу<sup>2</sup>.

Однако, как установлено и подтверждено на примере многочисленных пищевых продуктов (Сандуляк и соавт., 2011, Сандуляк и соавт., 2010), проведение ограниченного числа таких операций во всех случаях является недостаточным: в исследуемом продукте всегда остается некая неизвлеченная, зачастую значительная, масса частиц, даже при осуществлении повышенного числа  $n$  операций-циклов. По мере увеличения  $n$  величина этой массы, хотя и асимптотически убывает, приближается к нулю лишь при неограниченном числе операций. Ранее была предложена концепция усовершенствования этого (магнитного) метода определения содержания ферромагнитных частиц-примесей. Ключевое положение концепции — обязательное получение информации об операционных массах выделяемых частиц. Последующее нахождение пооперационной зависимости этих масс, ее математическое описание служат обоснованию экстраполяции такой зависимости и тем самым нахождению суммарной массы частиц: как фактически выделенных, так и оставшихся в изучаемой пробе. Разработанный авторами метод определения содержания ферропримесей, включенный в программу национальной стандар-

<sup>1</sup> Глебов, Л. А., Демский, А. Б., Веденьев, В. Ф., & Яблоков, А. Е. (2010). *Технологическое оборудование и поточные линии предприятий по переработке зерна*. М.: ДеЛи принт

<sup>2</sup> Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2007). Межгосударственный стандарт. Мука, крупа и отруби. Метод определения металломагнитной примеси (ГОСТ 20239–74). Стандартиформ. Госстандарт России. (2006). Государственный стандарт Российской Федерации. Солод ржаной сухой. Технические условия (ГОСТ Р 52061–2003). Госстандарт России. Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2016). Межгосударственный стандарт. Сахар. Метод определения ферропримесей (ГОСТ 12573–2013). Стандартиформ. Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2003). Межгосударственный стандарт. Концентраты пищевые. Методы определения примесей и зараженности вредителями хлебных запасов (ГОСТ 15113.2–77). Стандартиформ. Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2006). Межгосударственный стандарт. Чай. Правила приемки и методы анализа (ГОСТ 1936–85). Стандартиформ. Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2019). Межгосударственный стандарт. Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли золы и металломагнитной примеси (ГОСТ 5901–2014). Стандартиформ. Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2011). Межгосударственный стандарт. Комбикорма. Методы определения металломагнитной примеси (ГОСТ 13496.9–96). Стандартиформ. Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2002). Межгосударственный стандарт. Жмыхи, шроты и горчичный порошок. Метод определения металлопримесей (ГОСТ 13979.5–68). Стандартиформ. Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2002). Межгосударственный стандарт. Мука животного происхождения. Методы испытаний (ГОСТ 17681–82). Стандартиформ. Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2009). Межгосударственный стандарт. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси (ГОСТ 30483–97). Стандартиформ. Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации. (2018). Межгосударственный стандарт. Водоросли морские, травы морские и продукты их переработки. Методы анализа (ГОСТ 26185–84). Стандартиформ.

тизации, введен в действие как ГОСТ Р 55575–2013 «Продукты пищевые сыпучие. Определение содержания ферропримесей опытно-расчетным магнитным методом операционного экстраполируемого выделения». Тем не менее, получение информации о массовом содержании ферропримесей в среде продолжает оставаться трудоемким, что негативно сказывается на качестве анализа пищевых ингредиентов на предприятиях.

Цель данной статьи: представить результаты тестирования прибора-анализатора — с возможностями автоматизации и цифрового контроля содержания ферропримесей, позволяющего получать более объективный результат по сравнению с существующими методами контроля.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Оборудование

Для определения содержания ферропримесей в пробе сыпучей среды применена авторская разработка — прибор-анализатор (патент № 127016). На Рисунке 1 представлен вид лабораторного образца разработанного прибора. В нем осуществляется магнитное выделение ферромагнитных частиц из сыпучей среды посредством последовательно расположенных идентичных магнитных блоков (зон), с возможностью определения масс частиц, осажденных в каждой из зон магнитного выделения.

Прибор осуществляет контроль содержания ферромагнитных частиц в пробах любых исследуемых сред. Исходное содержание такого рода частиц может быть как сравнительно низким, так и высоким. Прибор должен быть рассчитан на контроль проб с любым содержанием. При этом пользователь прибора (корпус которого выполнен прозрачным) располагает текущей информацией о фактическом накоплении частиц, т.е. в режиме реального времени может наблюдать и оперативно регулировать накопление магнитоактивных частиц в каждой из зон их магнитного выделения.

Внутреннее устройство прибора-анализатора изображено на Рисунке 2. Выполняются пошаговые операции магнитной сепарации пробы среды 1 посредством находящихся в потоке этой среды четырех источников (блоков) равноценного маг-

**Рисунок 1**

Вид прибора-анализатора полиоперационного (с цифровой обработкой данных) контроля содержания магнитоактивных частиц в сыпучей среде

**Figure 1**

Appearance of the Multi-Operational Analyzer (with Digital Data Processing) for Monitoring the Content of Magnetically Active Particles in a Bulk Medium

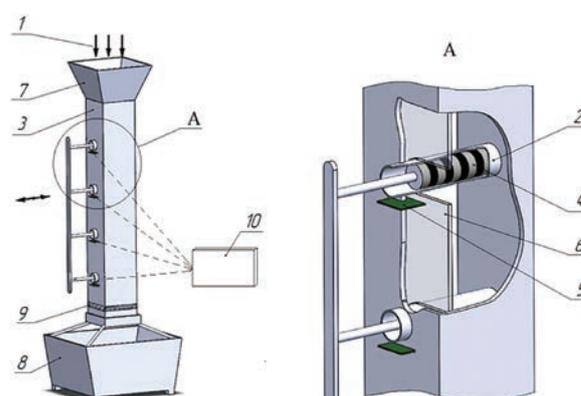


**Рисунок 2**

Основные элементы прибора-анализатора (четырёхсекционного) контроля содержания магнитоактивных частиц в сыпучей среде

**Figure 2**

Main Components of the Analyzer (Four-Section Device) for Monitoring the Content of Magnetically Active Particles in a Bulk Medium



нитного воздействия. Каждый из них состоит из неферромагнитного, заглушенного в концевой части, гнезда 2 (здесь трубчатой формы), вмонтированного в вертикальную поверхность рабочего канала 3, и периодически помещаемым в это гнездо магнитным блоком 4 (в частности, системой постоянных магнитов) — одновременно с другими тремя магнитными блоками.

Под каждым из гнезд 2 (Рисунок 2), а именно под его начальным, примыкающим к поверхности рабочего канала 3, участком, где осуществляется самопроизвольный сброс выделенных частиц, осевших на внешней поверхности гнезд 2 и перемещаемых к этому участку при периодическом выведении магнитного блока 4 из гнезда 2, установлены весы 5. Они исполнены с применением тензодатчика (в частности, балочного типа, градуированного в размерностях массы), экранированы от потока сепарируемой пробы среды 1 неферромагнитной защитной перегородкой 6.

Для подачи пробы среды 1 на сепарацию и отвода ее после сепарации (Рисунок 2) служат питательный бункер 7 и приемная емкость 8, при этом расход среды 1 регулируется, например, устройством 9 шибера типа.

Обработку сигналов, поступающих от всех (четыре) весов 5 с тензодатчиками, выполняет системный блок 10 цифровизации данных. Он обладает функциями визуализации получаемой зависимости операционных, выделяемых из потока среды 1, масс магнитоактивных частиц, осаждающихся с помощью магнитных блоков 4 на внешних поверхностях последовательно расположенных гнезд 2, экстраполяции этой зависимости, интеграции фактических и экстраполяционных данных операционных масс выделяемых частиц.

## Процедура проведения эксперимента

При работе прибора-анализатора проба анализируемой среды 1, подаваемая в него через питательный бункер 7, проходит по рабочему каналу 3, где пошагово подвергается операциям сепарации пробы за счет воздействия магнитных блоков 4, помещенных в неферромагнитные гнезда 2. Ферромагнитные частицы, содержащиеся в анализируемой среде 1, под воздействием магнит-

ного поля осаждаются на внешних поверхностях гнезд 2. При этом наблюдается определенное закономерное уменьшение массы осаждаемых ферромагнитных частиц на каждом последующем гнезде 2 по мере прохождения пробы 1 вниз по рабочему каналу 3.

После осуществления магнитной сепарации пробы среды 1 (Рисунок 2) осуществляют вывод магнитных блоков 4 из гнезд 2. При выводе происходит перемещение (вслед за движением магнитных блоков 4) выделенных из пробы 1 (осевших на внешней поверхности гнезд 2) ферромагнитных частиц на участок гнезда 2, примыкающий к поверхности рабочего канала 3. Затем следует их самопроизвольный сброс на весы 5 (с тензодатчиками) — после полного вывода магнитного блока 4 за пределы гнезда 2 и соответственно рабочего канала 3, когда магнитное воздействие на ферромагнитные частицы исчезает. Сигналы от всех четырех тензодатчиков весов 5 поступают на цифровую обработку в соединенный с весами 5 системный блок 10 цифровизации данных. Производится автоматизированная обработка данных, которая заключается в следующем: зафиксированная операционная зависимость масс выделяемых из пробы частиц экстраполируется, производится расчет суммарной массы содержания частиц в пробе, состоящей из фактических и экстраполяционных данных. Данная информация выводится на экран для оператора (патент РФ № 2752578).

## Анализ данных

Для реализуемого в приборе-анализаторе усовершенствованного метода магнитного полиоперационного контроля разработана программа ЭВМ. Получаемые данные масс навесок позволяют в автоматизированном режиме устанавливать функциональный вид зависимости убывания операционных масс навесок  $m$ . Получаемая зависимость, как правило, экспоненциальная функция типа  $m = a \cdot e^{-k \cdot n}$  с опытными параметрами  $a$  и  $k$ . Будучи дискретной, такая функция представляет собой убывающую геометрическую прогрессию, а это позволяет определять полную (соответствует неограниченному числу операций) массу магнитоактивных примесей в изучаемой пробе (как фактически выделенных, так и остаточных), используя полученную авторами расчетную формулу:

$$\Sigma m = \frac{a}{e^k - 1}, \quad (1)$$

содержащуюся в том числе в упомянутом выше ГОСТ Р 55575.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

В созданном авторами приборе-анализаторе впервые реализован метод контроля пищевых ингредиентов, предусматривающий многократное магнитное извлечение ферропримесей из пробы этой среды, автоматизированное (без участия оператора) получение функциональной зависимости операционных масс ферропримесей, ее экстраполяции с определением суммарной массы ферропримесей, содержащихся в исследуемой пробе.

Работа прибора-анализатора протестирована на пищевых продуктах и ингредиентах. На Рисунке 3 представлены результаты работы разработанной программы в форме *Print Screen*. Вверху слева приводится зависимость убывания операционных масс навесок, вверху справа — та же зависимость после обработки данных в полулогарифмических координатах, свидетельствующая (по факту квазилинеаризации данных в таких координатах) об ее экспоненциальном характере. Снизу справа приводится итоговый результат. Проведение исследования заключалось в пропускании проб пищевых продуктов (мука, солод, чай), содержащих ферропримеси, через прибор-анализатор, работа которого подробно описана выше.

Итоговый результат (масса всех присутствующих в пробе примесей: как за проведенные четыре операции, так и за пределами эксперимента), выданный программой (Рисунок 3, указан справа как « $\Sigma m$ »), полностью согласуется с результатом расчета по формуле (1). Так, данные по весу извлеченных на каждой ступени-операции контроля муки, солода и чая (Рисунок 3, указаны слева) описываются соответствующими экспоненциальными функциями вида  $m = a \cdot e^{-k \cdot n}$ :  $m = 165,9 \cdot e^{-0,98733n}$ ,  $m = 86,12 \cdot e^{-0,60914n}$  и  $m = 136,368 \cdot e^{-0,53315n}$ . Учитывая коэффициенты  $a$  и  $k$ , производится расчет масс по формуле (1).

Согласно результатам тестирования прибора-анализатора содержание ферропримесей в исследуемых пробах таких сред как мука, солод, чай пре-

вышает нормируемые значения (3 мг/кг для муки и солода, 5 мг/кг для чая) не менее, чем в 2 раза. А, значит, применение магнитных сепараторов для очистки этих продуктов от ферропримесей должно быть обязательным.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Настоящее исследование демонстрирует эффективность предложенного прибора-анализатора в контроле содержания ферропримесей в пищевых ингредиентах, таких как мука, солод и чай. Полученные результаты согласуются с предыдущими выводами о значительных остаточных массах ферропримесей, оставшихся после ограниченного числа операций традиционных методов магнитного выделения (Сандуляк и соавт., 2011, 2010). Данные эксперимента, указывающие на существенное превышение нормируемых значений содержания ферропримесей в исследуемых продуктах, подтверждают необходимость улучшения стандартных методов контроля, что было ранее отмечено в работах Глебова и соавт. (2010) и Фазуллиной и соавт. (2020).

Сравнение с традиционными методами, предусматривающими многократное магнитное извлечение ферропримесей, показало, что новый прибор-анализатор обеспечивает более точное определение суммарного содержания примесей. В отличие от ранее описанных методов, которые требуют значительных усилий оператора и многократных манипуляций для достижения высокой степени чистоты, представленный метод позволяет автоматически фиксировать массу частиц на каждой стадии магнитного выделения. Данный подход, согласно ранее предложенной теоретической модели (ГОСТ Р 55575–2013), реализует расчет полной массы ферропримесей, включая остаточную, что соответствует концепции операционного экстраполируемого выделения.

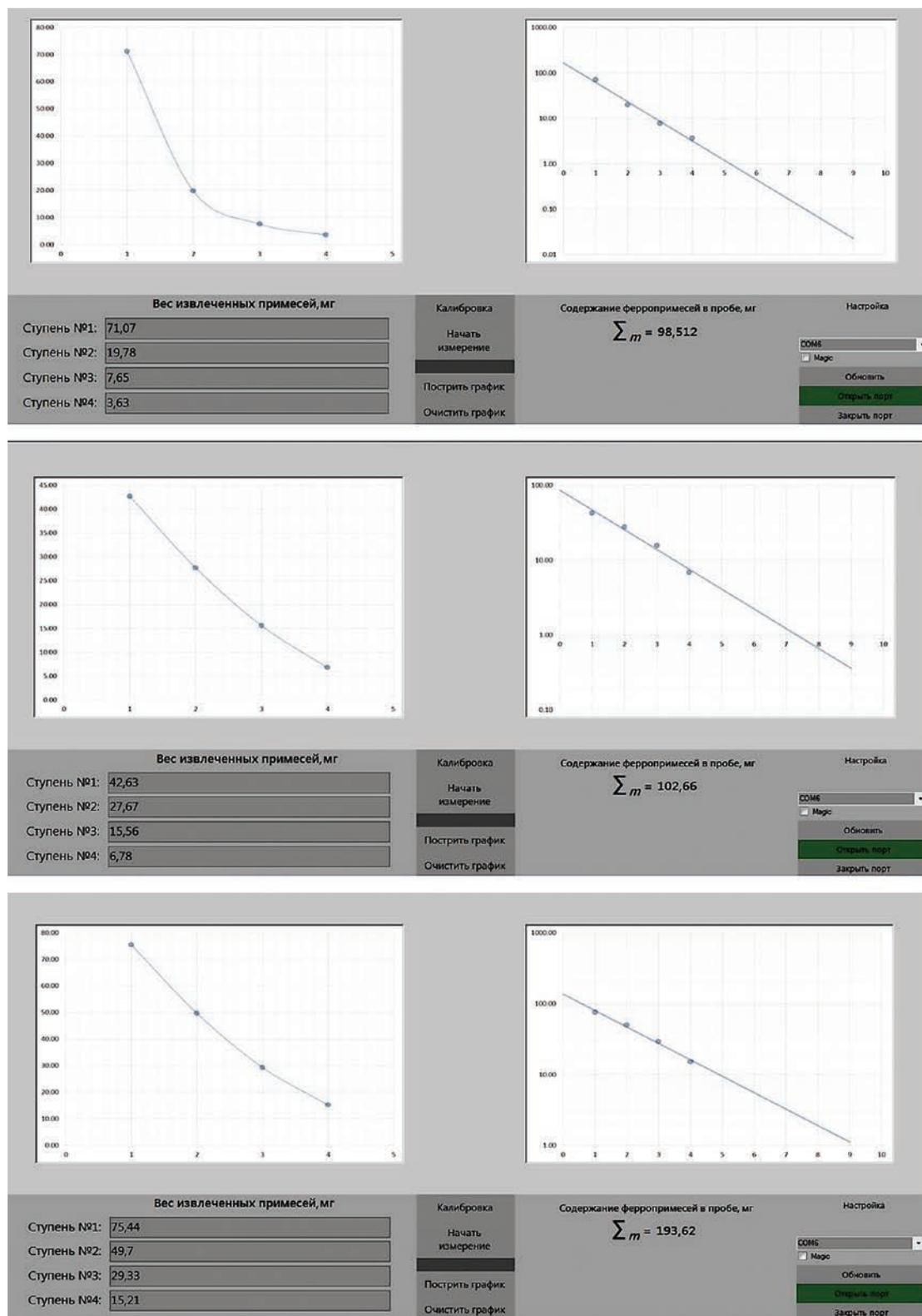
Полученные результаты также подтверждают важность учета гранулометрического состава и магнитных свойств частиц, что было показано в исследованиях Agarwal и соавт. (2003), Cuerva и соавт. (2022), и Goncalves и соавт. (2024). Прибор-анализатор демонстрирует высокую эффективность в отделении ферромагнитных частиц различного размера и магнитной восприимчивости. Таким образом,

**Рисунок 3**

Фрагменты, иллюстрирующие полученные по программе для ЭВМ результаты определения содержания ферропримесей в муке, солоде и чае с помощью прибора-анализатора

**Figure 3**

Fragments Illustrating the Results Obtained through Computer Software for Determining the Content of Ferroimpurities in Flour, Malt, And Tea Using the Analyzer



результаты исследования подчеркивают значимость предварительного изучения характеристик ферропримесей для повышения точности контроля и выбора оптимального режима магнитной сепарации, что подтверждается результатами исследований по высокоградиентной сепарации (Li et al., 2019; Tripathy et al., 2017; Xue et al., 2022).

Кроме того, автоматизированный характер измерений в представленном приборе снижает человеческий фактор, повышая объективность анализа. Это соответствует ранее заявленной цели исследования — улучшению методов контроля, направленных на повышение качества пищевой продукции. Предлагаемое решение, с учетом высокого уровня цифрового контроля и возможности экстраполяции данных, позволяет избежать недостатков существующих методов, при которых часть ферропримесей остается в пробе даже после увеличенного числа циклов магнитного выделения (Сандуляк и соавт., 2011).

Несмотря на продемонстрированную эффективность, необходимо отметить ограничение прибора, заключающееся в его адаптации к сыпучим ингредиентам, специфика работа с которыми ранее подчеркивали исследователи, работающие с различными средами, такими как жидкости и пасты (Xue et al., 2020; Liu et al., 2021). Применение прибора с жидкими средами требует дополнительных инженерных решений, что представляет собой перспективное направление для дальнейшего расширения применения методики и увеличения ее универсальности в пищевой промышленности.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты настоящего исследования подтверждают, что разработанный прибор-анализатор предоставляет надежное решение для точного определения содержания ферромагнитных примесей в пищевых ингредиентах. Проведенные тесты на муке, солоде и чае выявили, что прибор способен зафиксировать превышение допустимых норм содержания ферропримесей в 2–3 раза. Данные результаты свидетельствуют о том, что предложенная методика, обеспечивающая автоматизированный и многократный контроль, превосходит традиционные методы как по точности измерений, так и по удобству эксплуатации.

Применение прибора-анализатора в промышленности представляет собой перспективное средство для улучшения контроля качества на предприятиях пищевой отрасли. Повышенная точность в определении содержания ферропримесей позволяет выявлять загрязнения, которые ранее могли оставаться незамеченными, что способствует улучшению мер по очистке сырья и, как следствие, повышению качества конечной продукции. Таким образом, внедрение данного устройства позволит пищевым предприятиям соответствовать более строгим стандартам безопасности и качества, что важно для укрепления доверия потребителей и повышения конкурентоспособности.

Ограничения текущей версии прибора заключаются в его адаптации к работе с сыпучими ингредиентами. Расширение его функциональности для работы с жидкими средами требует дополнительных инженерных решений, что будет направлено на универсализацию метода и охват более широкого спектра пищевых продуктов. Дальнейшее развитие прибора позволит создать более универсальное средство контроля качества, что послужит основой для последующих исследований и внедрения в других областях пищевой промышленности.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Мария Николаевна Полисмакова:** концептуализация, проведение исследования, создание рукописи и ее редактирование.

**Анна Александровна Сандуляк:** Методология, верификация данных, применение математических методов анализа данных исследования, создание рукописи и ее редактирование.

**Никита Викторович Соловьев:** Проведение исследования, сбор материалов для исследования.

**Дарья Александровна Сандуляк:** Методология, редактирование рукописи.

**Александр Васильевич Сандуляк:** Верификация данных, формальный анализ, руководство исследованием.

**Вера Александровна Ершова:** Концептуализация, проведение исследования, создание черновика рукописи.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Maria N. Polismakova:** conceptualization, conducting a research and investigation process, writing — review and editing (preparation and creation of the published work).

**Anna A. Sandulyak:** methodology, data verification, applying mathematical methods to analyze study data, preparation, writing — review and editing (creation and presentation of the published work)

**Nikita V. Soloviev:** conducting the study, collecting materials for the study.

**Darya A. Sandulyak:** methodology, editing.

**Alexander V. Sandulyak:** data verification, formal analysis, supervision.

**Vera A. Ershova:** conceptualization, conducting a research and investigation process, writing — original draft preparation.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Glebov, L. A., Demskiy, A. B., Veden'yev, V. F., & Yablokov, A. Ye. (2010). *Tekhnologicheskoye oborudovaniye i potochnyye linii predpriyatiy po pererabotke zerna*. M.: DeLi print.
- Зверев, С., Крементуло, А., Лавринович, С., Назаров, И., & Чавчанидзе, А. (2008). Исследование содержания железа и металломагнитных примесей в муке. *Хлебпродукты*, (2), 58–61.
- Zverev, S., Kremetulo, A., Lavrinovich, S., Nazarov, I., Chavchanidze, A. (2008). Issledovaniye soderzhaniya zheleza i metallomagnitnykh primesey v muke. *Khleboprodukty*, (2), 58–61. (In Russ.)
- Масюткин, Е. П. (2016). Извлечение ферромагнитных примесей из сыпучих сельскохозяйственных материалов. *Вестник КрасГАУ*, (11), 54–60.
- Masyutkin E.P. (2016). Extraction of Ferromagnetic Impressions from Bulk Agricultural Materials. *Vestnik KrasGAU*, (11), 54–60. (In Russ.)
- Мурашов, И. Д., Крюкова, Е. В., Горячева, Е. Д., Джабакова, А. Э., & Парамонов, Г. В. (2019). Обнаружение металлических и неметаллических включений в пищевых продуктах электрометрическим методом. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4), 81–91. <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i4.s279>
- Murashov, I. D., Kryukova, E. V., Goryacheva, E. D., Dzhabakova, A. E., & Paramonov, G. V. (2019). Detection of metallic and non-metallic inclusions in food products by electrometric method. *Health, Food & Biotechnology*, 1(4), 81–91. (In Russ.) <https://doi.org/hfb.2019.i4.s279>
- Невзоров, В. Н., Ярум, А. И., & Самойлов, В. А. (2012). Совершенствование магнитных сепараторов для очистки зерна и муки. *Вестник КрасГАУ*, (5), 426–431.
- Nevzorov N.V., Yarum A.I., Samoilov V.A. (2012). Perfection of Magnetic Separators for Clearing Grind and the Flow. *Vestnik KrasGAU*, (5), 426–431. (In Russ.)
- Носова, М. В., Дремучева, Г. Ф. (2023). Исследования хлебопекарных свойств муки ржаной хлебопекарной обдирной, поставляемой на хлебопекарные предприятия РФ. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 69–82. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.385>
- Nosova M.V., Dremucheva G.F. (2023). Studies of the baking properties of rye flour, delivered to baking enterprises of the Russian Federation. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 69–82. (In Russ.) <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.385>
- Сандуляк А.В., Пугачева М.Н., Сандуляк А.А., Ершова В.А. (2021). Способ определения концентрации магнитовосприимчивых примесей в текучей среде. (Патент РФ № 2409425).
- Сандуляк Д.А., Киселев Д.О., Сандуляк А.А., Сандуляк А.В. (2021). Прибор для контроля магнитоактивных частиц в текучей среде. (Патент РФ на промышленный образец № 127016).
- Сандуляк Д.А., Сандуляк А.А., Киселев Д.О., Сандуляк А.В. (2021). Устройство для опытно-цифрового анализа содержания в текучей среде магнитно-восприимчивых частиц. (Патент РФ № 2752578).
- Сандуляк Д.А., Киселев Д.О., Сандуляк А.А., Сандуляк А.В., Полисмакова М.Н. (2020). Программа ЭВМ для цифровой обработки операционных масс магнитно-восприимчивых частиц, выделяемых из текучей среды (Свидетельство № 2020665261).
- Сандуляк, А. А., Полисмакова, М. Н., Ершова, В. А., & Сандуляк, А. В. (2011). Контроль ферропримесей пищевых сред: недостатки и основные концепции совершенствования нормативно-метрологической базы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 60–66.
- Sandulyak, A. A., Polismakova, M. N., Yershova, V. A., & Sandulyak, A. V. (2011). Ferroadmixture food environments control: Lux and the basic of performance of the standard-metrological base. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 60–66. (In Russ.)
- Сандуляк, А. А., Полисмакова, М. Н., Ершов, Д. В., Сандуляк, А. В., Ершова, В. А., & Сандуляк, Д. А. (2010). Функциональная экстраполяция массово-операционной характеристики магнитофореза как основа прецизионного метода контроля феррочастиц. *Измерительная техника*, (8), 57–60.
- Sandulyak, A. A., Polismakova, M. N., Ershov, D. V., Sandulyak, A. V., Ershova, V. A., & Sandulyak, D. A. (2010). Functional extrapolation of the mass-operational characteristic of magnetophoresis as a basis for a precision method of monitoring ferroparticles. *Measurement Techniques*, (8), 57–60. (In Russ.)

- Фазулина, О. Ф., & Смирнов, С. О. (2020). Разработка системы управления безопасностью процесса производства макаронных изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 50(4), 736–748. <http://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-736-748>
- Fazullina OF, Smirnov SO. (2020). New safety management system for pasta production. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(4), 736–748. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-736-748>
- Agarwal, A. K., Bijwe, J., & Das L. M. (2003). Wear assessment in a biodiesel fueled compression ignition engine. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, 125, 820–826. <https://doi.org/10.1115/1.1501079>
- Cuerva, M.P., Gonçalves, A. C., Albuquerque, M. C. F., Chavarette, F. R., Outa, R., & Almeida, E. F. (2022). Analysis of the influence of contamination in lubricant by biodiesel in a pin-on-disk equipment. *Materials Research*, 25, e20210375. <https://doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2021-0375>
- Gao, Y., Olivas-Martinez, M., Sohn, H. Y., Kim, H. G., & Kim, C. W. (2012). Upgrading of low-grade manganese ore by selective reduction of iron oxide and magnetic separation. *Metallurgical and Materials Transactions B*, 43(6), 1465–1475. <https://doi.org/10.1007/s11663-012-9731-6>
- Goncalves, A. C., Chavarette, F. R., Outa, R., & Godoi, L. H. A. (2024). Assistance of analytical ferrography in the interpretation of wear test results carried out with bio lubricants. *Tribology International*, 197, 109758. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2024.109758>
- Hu, Z., Lu, D., Wang, Y., Zheng, X., & Zhang, Y. (2024). A novel pneumatic dry high-intensity magnetic separator for the beneficiation of fine-grained hematite. *Powder Technology*, 433, 119216. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2023.119216>
- Jia, R., Ma, B., Zheng, C., Wang, L., Ba, X., Du, Q., & Wang, K. (2018). Magnetic properties of ferromagnetic particles under alternating magnetic fields: Focus on particle detection sensor applications. *Sensors*, 18(12), 4144. <https://doi.org/10.3390/s18124144>
- Koukabi, N., Kolvari, E., Zolfigol, M., Khazaei, A., Shaghaseemi, B. S., & Fasahati, B. (2012). A Magnetic particle-supported sulfonic acid catalyst: Tuning catalytic activity between homogeneous and heterogeneous catalysis. *Advanced Synthesis & Catalysis*, 354(10), 2001–2008. <http://dx.doi.org/10.1002/adsc.201100352>
- Kheshti, Z., Ghajar, K. A., Altaee, A., Kheshti, M. R. (2019). High-Gradient Magnetic Separator (HGMS) combined with adsorption for nitrate removal from aqueous solution. *Separation and Purification Technology*, 212, 650–659. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2018.11.080>
- Li, W., Zhou, L., Han, Y., Xu, R. (2019). Numerical simulation and experimental verification for magnetic field analysis of thread magnetic matrix in high gradient magnetic separation. *Powder Technology*, 355, 300–308. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.07.024>
- Liu, X., Wang, J. Sun, K., Cheng, L., Wu, M., & Wang, X. (2021). Semantic segmentation of ferrography images for automatic wear particle analysis. *Engineering Failure Analysis*, 122, 105268. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105268>
- Macián, V., Payri, R., Tormos, B., & Montoro, L. (2006). Applying analytical ferrography as a technique to detect failures in Diesel engine fuel injection systems. *Wear*, 260, 562–566. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.03.019>
- Shin S.-H., Kim, Y.-H., Jung, S.-K., Sun, K.-H., Kang, S.-G., Jeong S.-K., & Kim, H.-G. (2004). Combined performance of electrocoagulation and magnetic separation processes for treatment of dye wastewater. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 21(4), 806–810. <https://doi.org/10.1007/BF02705524>
- Singh, S., Sahoo, H., Rath, S. S., Sahu, A.K., & Das, B. (2015). Recovery of iron minerals from Indian iron ore slimes using colloidal magnetic coating. *Powder Technology*, 269, 38–45. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2014.08.065>
- Tandon, N., Parey, A. (2006). Condition monitoring of rotary machines. *Condition Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing* (Springer Series in Advanced Manufacturing, pp. 109–136). Springer. [https://doi.org/10.1007/1-84628-269-1\\_5](https://doi.org/10.1007/1-84628-269-1_5)
- Toneguzzo, P., Viau, G., & Fiévet, F. (2006). Monodisperse ferromagnetic metal particles: Synthesis by chemical routes, size control and magnetic characterizations. *Handbook of Advanced Magnetic Materials*, 37(19), 1193–1242. [https://doi.org/10.1007/1-4020-7984-2\\_29](https://doi.org/10.1007/1-4020-7984-2_29)
- Trafialek, J., Kaczmarek, S., & Kolanowski, W. (2016). The risk analysis of metallic foreign bodies in food products. *Journal of Food Quality*, 39, 398–407. <https://doi.org/10.1111/jfq.12193>
- Tripathy, S.K., & Suresh, N. (2017). Influence of particle size on dry high-intensity magnetic separation of paramagnetic mineral. *Advanced Powder Technology*, 28(3), 1092–1102. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.01.018>
- Wang, F., Tang, D., Gao, L., Dai, H., Jiang, P., & Lu, M. (2020). Dynamic capture and accumulation of multiple types of magnetic particles based on fully coupled multiphysics model in multiwire matrix for high-gradient magnetic separation. *Advanced Powder Technology*, 31(3), 1040–1050. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2019.12.020>
- Wang, Y., Xue, Z., Zheng, X., Lu, D., Li, S., & Li, X. (2019). Effect of matrix saturation magnetization on particle capture in high gradient magnetic separation. *Minerals Engineering*, 139, 105866. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.105866>
- Xue, H., Han, C., Chen, M., Fan, G., & Zhou, J. (2022). Improving mechanical properties of manufactured sand concrete with high biotite content: Application of magnetic separation process and equipment optimization. *Construction and Building Materials*, 350, 128861. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128861>
- Xue, Z., Wang, Y., Zheng, X., Lu, D., & Li, X. (2020). Particle capture of special cross-section matrices in axial high gradient magnetic separation: A 3D simulation. *Separation and Purification Technology*, 237, 116375.
- Xue, Z., Wang, Y., Zheng, X., Lu, D., Sun, Z., & Jing, Z. (2022). Mechanical entrainment study by separately collecting particle deposit on matrix in high gradient magnetic separation. *Minerals Engineering*, 178, 107435. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2022.107435>
- Ye F., Deng H., Guo Z., Wei B., & Ren X. (2023). Separation mechanism and experimental investigation of pulsating high gradient magnetic separation, *Results in Physics*, 49, 106482. <https://doi.org/10.1016/j.rinp.2023.106482>

# Влияние ингибитора этилена «Фитомаг» на качество баклажан технической степени зрелости при хранении

ВНИИООБ – филиала ФГБНУ «ПАФНЦ РАН», г. Камызяк, Российская Федерация

А. В. Гулин, В. А. Мачулкина, О. П. Кигашпаева, Л. П. Лаврова

## КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

**Ольга Петровна Кигашпаева**  
E-mail: okigashpaeva@mail.ru

## ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Гулин, А. В., Мачулкина, В. А., Кигашпаева, О. П., & Лаврова, Л. П. (2024). Влияние ингибитора этилена «Фитомаг» на качество баклажан технической степени зрелости при хранении. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 32(3), 144-153. <https://doi.org/10.36107/spfr.2024.3.422>

**ПОСТУПИЛА:** 14.02.2024

**ДОРАБОТАНА:** 17.08.2024

**ПРИНЯТА:** 15.09.2024

**ОПУБЛИКОВАНА:** 30.09.2024

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:

автор сообщает об отсутствии конфликта интересов.



## АННОТАЦИЯ

**Введение:** Проблема сохранения плодов различных культур всегда актуальна. Рост потребления баклажанов стимулирует поиск эффективных методов их хранения. В условиях повышенного спроса важно минимизировать потери качества при длительной транспортировке и хранении. Одним из перспективных решений является использование ингибитора этилена «Фитомаг». Препарат замедляет старение плодов и сохраняет их свежесть. Изучение воздействия препарата «Фитомаг» на сохранение качества баклажанов технической зрелости ранее не изучалось.

**Цель:** изучить влияние ингибитора этилена «Фитомаг» на сохранение качества и снижение убыли массы плодов при хранении.

**Материалы и методы:** Объектами исследования явились плоды сортов баклажан селекции ВНИИООБ – филиала ФГБНУ ПАФНЦ РАН - Черный цилиндр, Сиреневый, Алмазный и Лебединый технической степени созревания, выращенные на опытном поле в открытом грунте, ингибитор этилена «Фитомаг». Исследования проводили в 2020–2022 годах. В качестве оборудования использовали хранилище с естественным температурно – влажностным режимом и герметически укуповренная пластмассовая емкость. Инструментом служили весы и шприц медицинский 1,5 мм. Подготовленные плоды закладывали на хранение в емкость 50 литров и обрабатывали 3 % раствором NaOH.

**Результаты:** Проведенные исследования показали, что обработка плодов баклажан ингибитором этилена «Фитомаг» на основе раствора 3 % NaOH в количестве 1,5 мл на 50 литров объема позволило, независимо от сорта, снизить убыль массы в 1,2–1,3 раза и повысить качество плодов по сравнению с контролем. Наиболее высокие показатели были у сорта Алмазный. В данном сорте содержание основных химических веществ, как в контроле, так и с обработкой была выше остальных изучаемых сортов. Обработка препаратом «Фитомаг» после шести суток хранения позволила повысить качество плодов баклажан по сравнению с контролем: сорта Черный цилиндр – в 1,3 раза, Сиреневый – в 1,3 раза, Алмазный – 1,8 раза и у сорта Лебединый – в 1,2 раза.

**Выводы:** Применение ингибитора этилена «Фитомаг», свидетельствует о возможности его использования для повышения качества плодов в процессе хранения баклажан..

## КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

баклажан; методы хранения; ингибитор этилена; Фитомаг; сохранение качества; снижение потери массы; стадия технической зрелости; старение плодов; экспериментальное исследование; сравнение сортов

# The Influence of the Ethylene Inhibitor "Fitomag" on the Quality of Eggplants of Technical Maturity During Storage

VNII OOB – branch of the Federal State Budget Scientific Institution "PAFSC RAS", Kamzyak, Russian Federation

Alexander V. Gulin, Vera A. Machulkina, Olga P. Kigashpayeva, Larisa P. Lavrova

## CORRESPONDENCE:

**Olga P. Kigashpayeva**

E-mail: okigashpaeva@mail.ru

## FOR CITATIONS:

Gulin A.V., Machulkina V.A., Kigashpayeva O.P., Lavrova L.P. The Influence of the Ethylene Inhibitor "Fitomag" on the Quality of Eggplants of Technical Maturity during Storage. *Storage and Processing of Farm Products*. 2024;32(3). <https://doi.org/10.36107/spfp.2024.3.422>

**RECEIVED:** 14.02.2024

**REVISED:** 17.08.2024

**ACCEPTED:** 15.09.2024

**PUBLISHED:** 30.09.2024

## DECLARATION OF COMPETING

**INTEREST:** none declared.



## ABSTRACT

**Introduction:** The issue of preserving various crops is always relevant. The increasing consumption of eggplants stimulates the search for their effective storage methods. Given high demand, it is crucial to minimize quality loss during prolonged transportation and storage. One promising solution is to use the ethylene inhibitor "Fitomag". This preparation slows down the aging of fruits and maintains their freshness. The impact of "Fitomag" on preserving the quality of eggplants at the technical maturity stage has not been previously studied.

**Purpose:** To study the impact of the ethylene inhibitor "Fitomag" on maintaining quality and reducing mass loss of fruits during storage.

**Materials and Methods:** The objects of study were the fruits of eggplant varieties selected by the All-Russian Research Institute of Irrigated Vegetable and Melon Growing – Black cylinder, Lilac, Diamond and Swan of technical maturity grown in the experimental field of the Institute in the open ground, and the ethylene inhibitor "Fitomag". The research was carried out in 2020–2022. Storage with a natural temperature and humidity regime and a hermetically sealed plastic container were used as equipment. The instruments were a scale and a 1.5 mm medical syringe. The prepared fruits were stored in a 50-liter container and treated with a 3% NaOH solution.

**Results:** Studies have shown that the treatment of eggplant fruits with the ethylene inhibitor "Fitomag" based on a solution of 3% NaOH in the amount of 1.5 ml per 50 liters of volume allowed, regardless of the variety, to reduce weight loss by 1.2–1.3 times and improve the quality of fruits compared to the control. The Diamond variety had the highest rates. In this variety, the content of the main chemicals, both in control and with treatment, was higher than the rest of the studied varieties. Treatment with the preparation "Fitomag" after six days of storage allowed to improve the quality of eggplant fruits in comparison with the control: varieties Black cylinder – 1.3 times, Lilac – 1.3 times, Diamond – 1.8 times and the Swan variety – 1.2 times.

**Conclusion:** The use of the ethylene inhibitor "Fitomag" indicates the possibility of its utilization to improve the quality of fruits during the storage of eggplants.

## KEYWORDS

eggplant; storage methods; ethylene inhibitor; Fitomag; quality preservation; mass loss reduction; technical maturity stage; fruit aging; experimental study; variety comparison

## ВВЕДЕНИЕ

В рамках Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы ставится задача обеспечения стабильного роста производства сельскохозяйственной продукции за счет внедрения новых отечественных сортов и повышения качества производимого сырья на этапах его хранения. Цель программы — создание условий для развития научно-технической деятельности, которая позволит повысить независимость и конкурентоспособность отечественного агропромышленного комплекса.

Астраханская область является одной из лидирующих в производстве овощебахчевой продукции, что обусловлено благоприятными климатическими условиями региона, позволяющими выращивать разнообразные культуры, такие как томаты, перец, баклажаны, огурцы, арбузы и дыни (Агроклиматические ресурсы астраханской области, 1974). Развитие агропромышленного комплекса в регионе считается одним из приоритетных направлений, так как оно играет важную роль в социально-экономическом развитии области и способствует укреплению продовольственной безопасности страны (Иванова, 2015). Комплексные меры по модернизации агропромышленного комплекса обеспечивают устойчивое развитие сектора и повышают его конкурентоспособность (Гудковский, 2010; Иванова, 2016).

Одной из актуальных задач является сохранение качества продукции на протяжении длительного периода хранения. Современные методы хранения, такие как использование холода, регулируемых газовых сред и вакуума, позволяют продлить срок годности продукции, но часто оказываются экономически затратными и не всегда применимыми в широких масштабах (Мачулкина, 2020; Гудковский, 2010). Поэтому важным направлением исследований является поиск новых экономических способов хранения, которые обеспечивают сохранение качества продукции (Мачулкина, 2015).

Ключевую роль в этом процессе играет ингибирование биосинтеза этилена — газа, который участвует в процессах созревания и старения растений (Schaller & Binder, 2017). Этилен оказывает значительное влияние на сохранность сельскохозяйственной продукции, поэтому разработка и применение ингибиторов его синтеза являются

основой эффективных технологий хранения (Сутормина, 2014). Научные исследования подтвердили эффективность использования препаратов на основе 1-метилциклопропена (1-МЦП), который замедляет процессы старения и предотвращает преждевременное созревание плодов и овощей, и уменьшается поражаемость грибными заболеваниями (Blankenship & Dole, 2003; Sisler, 1996; Fan, 1999). Также исследования показали, что эффективность 1-МЦП зависит от сорта и условий хранения (Watkins, 2000).

В России был создан отечественный ингибитор этилена «Фитомаг», который разработан Всероссийским научно-исследовательским институтом садоводства им. И.В. Мичурина и Российским химико-технологическим университетом им. Д.И. Менделеева (Гудковский, 2010). Применение этого препарата на различных плодах, таких как яблоки, алыча, персики, а также на овощах, включая томаты и перцы, показало его высокую эффективность в продлении сроков хранения (Гудковский & Акишин, 2016; Марцинкевич и соавт., 2018). Однако влияние ингибитора этилена «Фитомаг» на качественные показатели баклажанов технической степени зрелости изучается впервые.

Баклажаны представляют интерес благодаря своей текстуре и высокому содержанию питательных веществ. Их разнообразные способы переработки делают данную культуру перспективной для изучения с точки зрения продления сроков хранения. Применение ингибиторов этилена для баклажанов может позволить подобрать оптимальные условия хранения для этой культуры и увеличить срок ее годности (Martínez-Romero et al., 2007; Jin et al., 2011).

Цель исследования: определить влияние ингибитора этилена «Фитомаг» на качественные показатели плодов баклажан технической степени зрелости в процессе хранения.

Исследовательские вопросы:

- (1) Как ингибитор «Фитомаг» влияет на качество и продолжительность хранения свежих плодов баклажан?
- (2) Какие изменения биохимических показателей происходят при хранении и как они влияют на безопасность конечного продукта?

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

### Введение

Исследования по изучению влияния ингибитора этилена «Фитомаг» на изменение качества и естественной убыли в процессе хранения плодов новых сортов баклажан проводили в 2020–2022 годах. Объект исследований — растения баклажан (сорта: Алмазный, Сиреневый, Черный цилиндр, Лебединый). Предмет исследований — влияние препарата на хранение продукции (убыль массы, структура и биохимический состав товарной продукции). Объект исследований был выращен в 2020–2022 годах на опытном поле института в открытом грунте. Почва участка аллювиально-луговая, среднесуглинистая, средnezасоленная с содержанием гумуса в слое 0–20 см от 1,7 до 4,0%, гидролизуемого азота 80–140 мг/кг, подвижного фосфора 28–45 мг/кг, обменного калия 250–400 мг/кг. Метеорологические условия периода проведения исследования 2020–2022 гг. в целом были благоприятны для роста и развития растений баклажан. Климат резко континентальный с жарким, засушливым летом и малоснежной зимой. сумма годовых осадков составляет 155–195 мм, сумма активных температур воздуха составляет 3360–3565 °С. По средним многолетним данным заморозки прекращаются во II декаде апреля. Агротехника выполнения полевых работ общепринятая для зоны, включала в себя комплекс технологических операций по возделыванию овощных культур, изложенных и рекомендованных «Научно-обоснованной системой земледелия Астраханской области»<sup>1</sup> и «Астраханской индустриальной технологией возделывания овощных и пропашных культур»<sup>2</sup>. Внесение минеральных удобрений: нитроаммофоска (16:16:16) — 500 кг/га в ф.в. Система полива — капельное орошение, оросительная норма 6600 м<sup>3</sup>/га.

### Материалы

Плоды баклажан сортов селекции Всероссийского НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства в технической степени созревания Черный цилиндр, Сиреневый, Алмазный и Лебединый.

### Оборудование

Хранилище с естественно сложившимся температурно-влажностным режимом, герметически укуренная пластмассовая емкость на 50 литров

### Инструменты

Весы, шприц медицинский объемом 1,5 мм, ящики пластмассовые с крышкой объемом 50 литров.

### Методы и инструменты

Изменение основных химических веществ определяли, как в день закладки опыта, так и в процессе дальнейшего хранения. Потери массы в процессе хранения определяли по формуле:

$$m = \frac{a-b}{a} \cdot 100\%,$$

где  $m$  — потери массы в %;  
 $a$  — масса сырья перед закладкой на хранение, кг;  
 $b$  — масса при снятии с хранения, кг.

Работа проводилась согласно общепринятым методикам: Медико-биологических требований и санитарных норм качества продовольственного сырья и пищевых продуктов<sup>3</sup>, Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности продуктов<sup>4</sup>.

Биохимический анализ плодов определяли: (а) массовая доля сахара — ГОСТ 8756.13–87, п.2;

<sup>1</sup> Чечнев, В. А., Федоров, Д. В., Иващенко, И. Н. (1983). Научно обоснованные системы земледелия Астраханской области. Волгоград: Нижне-Волжское кн. изд-во.

<sup>2</sup> Мин-во сельск. хоз-ва РСФСР. (1985). Астраханская индустриальная технология возделывания овощных и пропашных культур. М.: РоссельхозНОТ.

<sup>3</sup> Медико-биологические требования и санитарные норм качества продовольственного сырья и пищевых продуктов (1990). Москва: Изд-во стандартов.

<sup>4</sup> СанПиН 2.3.2.1078–01 (2001) Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности продуктов. Москва.

(б) массовая доля витамина С — ГОСТ 24556–89, п.2;  
(в) содержание сухого вещества (Ермаков, 1987).

## Анализ данных

Математическая обработка экспериментальных данных проводилась по Б.А. Доспехову (1989) с использованием программного продукта Microsoft Office Excel 2010. Опыт проводили в четырёхкратной повторности и полученные значения выражали как среднее значение 4-х измерений.

## Процедура исследования

Для хранения отобрали плоды баклажан высшего сорта технической степени зрелости сортов Алмазный, Сиреневый, Черный цилиндр, Лебединый. При хранении использовали ингибитор этилена «Фитомаг» (1-метилциклопропен, 0,5 г/кг) в концентрации 1,5 мл/л на основе Na OH на 50 литров объема или на 10 кг продукции. Подготовленные для хранения плоды закладывали в емкость объемом 50 литров, затем подготавливали 3%-ный раствор NaOH. Медицинским шприцом отбирали 1,5 мл приготовленного раствора и путем прокалывания пробки пузырька с содержащимся в нем ингибитором этилена «Фитомаг» вводили раствор, тщательно взбалтывая, и помещали в емкость, быстро открывали пробку и сразу же герметично ёмкость и укупоривали. Экспозиция выдерживания плодов в емкости 24 часа, далее пластиковую тару открывали, и обработанные плоды закладывали на хранение в естественно сложившихся условиях хранилища. За контроль брали плоды необработанные.

Температура воздуха в хранилище была установлена в пределах 18–20 °С, относительная влажность воздуха равнялась 55–78% (конец августа — начало сентября). Пробы для химического анализа отбирали с каждого варианта согласно требованию ГОСТ Р 56822–2015 «Баклажаны свежие для промышленной переработки». К «стандарту» относили плоды без механических дефектов, не поврежденными вредителями и болезнями, без явных признаков увядания, к «не стандарту» относили плоды с признаками незначительного увядания, небольшими механическими повреждениями, потерюстами. К «отходу» относили плоды явными признаками увядания, загнившие, вялые.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты исследования по выявлению влияния продолжительности хранения на качество и естественную убыль массы плодов баклажан с применением ингибитора этилена «Фитомаг» свидетельствуют, что качество и убыль массы плодов зависели помимо влияния препарата и от сорта. Баклажаны относятся к скоропортящимся овощам.

Данные Таблицы 1 свидетельствуют о том, что обработка плодов баклажан ингибитором этилена «Фитомаг» позволила замедлить увядание плодов. Разница в убыли массы была отмечена с первых суток хранения. Убыль массы, в зависимости от сорта, была выше в контроле в 1,2–1,3 раза по сравнению с обработанными плодами. Такая тенденция отмечена в процессе всего периода хранения.

**Таблица 1**

Влияние препарата «Фитомаг» на потери продукции при хранении сортов баклажанов, % (2020–2022 гг.)

**Table 1**

The Effect of «Fitomag» Preparation on the Storage Losses of Eggplant Varieties, % (2020–2022)

Сорт	Вариант	Продолжительность хранения, сутки					
		1	2	3	4	5	6
Черный цилиндр	контроль	1,51	3,00	3,94	4,16	5,55	6,63
	с обработкой	1,27	2,96	3,15	3,89	4,23	5,41
Сиреневый	контроль	1,94	3,88	4,85	5,55	9,80	11,3
	с обработкой	1,74	3,12	3,98	4,26	6,83	9,87
Алмазный	контроль	0,87	2,70	3,07	3,57	4,89	5,17
	с обработкой	0,68	1,98	2,43	2,89	3,67	4,13
Лебединый	контроль	1,94	3,61	3,98	4,85	6,97	7,74
	с обработкой	1,66	2,93	3,16	3,74	5,41	6,91

В процессе изучения убыли массы плодов в течение хранения было установлено и влияние сорта на убыль массы (Таблица 1). Убыль массы у сорта Сиреневый оказалась самой значительной в сравнении с другими сортами. Она варьировала в процессе хранения от 1,94% (контроль) до 1,74% (обработанные после суток хранения). Через шесть суток хранения убыль массы составила 11,3% (контроль) и 9,87% (обработанные). Низкая убыль мас-

сы, по сравнению с другими сортами в процессе всего периода хранения, была у сорта Алмазный. В зависимости от условий хранения в первые сутки она равнялась 0,87–0,68%, к концу хранения убыль массы составляла 5,17–4,13%. Два других сорта занимали промежуточное положение. Отсюда, применение ингибитора этилена «Фитомаг», независимо от сорта, позволяет сократить убыль массы плодов в 1,2–1,3 раза.

Помимо убыли массы при хранении большое значение имеет сохранность качества плодов. Качество плодов изменяется по мере их хранения (Мачулкина, 2020). Но благодаря кропотливой работе селекционеров института появилась возможность создать сорта баклажан, характеризующихся высоким качеством плодов при их хранении (Кигашпаева, 2016). Как следует из Таблицы 2, наиболее высокое качество плодов было отмечено у сорта Алмазный. После шести суток хранения отход составил в контроле 27,6%, что ниже, чем у других сортов в 1,6–1,8 раза. Обработка плодов перед закладкой на хранение ингибитором этилена «Фитомаг» позволило повысить качество плодов. Наименьшее количество отходов (загнившие, сильно увядшие) наблюдалось у сорта Алмазный. У других сортов количество отходов варьировало от 30,1 до 43,3% (Таблица 2).

**Таблица 2**

Влияние препарата «Фитомаг» на изменение товарной части продукции при хранении сортов баклажанов, % (2020–2022 гг.)

**Таблица 2**

The Effect of «Fitomag» Preparation on Changes in the Marketable Portion of Eggplant Varieties during Storage, % (2020–2022)

Сорт	Вариант	В день закладки опыта	После шести суток хранения		
			стандарт	нестандарт	отход
Черный цилиндр	контроль	100	30,9	22,3	46,8
	с обработкой	100	41,3	20,6	36,1
Сиреневый	контроль	100	29,6	27,3	43,1
	с обработкой	100	39,3	30,6	30,1
Алмазный	контроль	100	39,0	33,4	27,6
	с обработкой	100	70,4	23,1	6,5
Лебединный	контроль	100	37,9	12,3	49,8
	с обработкой	100	46,6	10,1	43,3
	НСР <sub>05</sub>		4,5		

Ингибитор этилена «Фитомаг» помимо влияния на убыль массы и качество плодов при хранении изменял и содержание основных химических веществ. Из таблицы 3 видно, что наиболее высокое содержание сухих веществ было как до хранения, так и по окончании хранения у сорта Алмазный. Но надо отметить, что в процессе хранения в контроле во всех изучаемых сортах содержание сухих веществ повышалось по сравнению с плодами в день закладки опыта, а у обработанных плодов была ниже, чем в контроле (Таблица 3).

**Таблица 3**

Влияние препарата «Фитомаг» на изменение биохимического состава при хранении плодов сортов баклажанов, (2020–2022 гг.)

**Table 3**

The Effect of «Fitomag» Preparation on Changes in the Biochemical Composition of Eggplant Varieties during Storage, (2020–2022)

Сорт	Вариант	Продолжительность хранения, сутки	Сухое вещество, %	Сумма сахаров, %	Аскорбиновая кислота, мг/%
Черный цилиндр	до хранения	0	7,08	2,30	3,20
	контроль	6	8,44	1,18	1,48
	с обработкой	6	7,96	1,33	1,60
Сиреневый	до хранения	0	7,32	2,89	2,80
	контроль	6	7,41	1,41	1,70
	с обработкой	6	7,24	1,53	1,0
Алмазный	до хранения	0	9,52	3,30	3,86
	контроль	6	9,80	1,83	2,30
	с обработкой	6	9,28	1,64	2,80
Лебединный	до хранения	0	7,32	2,36	2,60
	контроль	6	7,68	1,18	1,56
	с обработкой	6	7,56	1,24	1,90

Полученные нами экспериментальные данные указывают на значительную роль препарата «Фитомаг» в ингибировании выделения этилена и углекислого газа. Результаты наших исследований подтверждают выводы, полученные исследователями, в том числе на плодовых культурах (Марцинкевич и соавт., 2017), других овощных культурах: томат, перец (Швец & Козловский, 2002) скоропортящихся продуктов: плодов, ягод, овощей (Гудковский и соавт., 2012), дополняют их, так как с культурой баклажана данные исследования проводились только во Всероссийском НИИ орошаемого овощеводства и бахчеводства.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Целью настоящего исследования было изучение влияния ингибитора этилена «Фитомаг» на сохранение качества и снижение убыли массы плодов баклажан технической степени зрелости при хранении. Обработка плодов баклажан препаратом «Фитомаг» позволила значительно улучшить их качество и снизить потерю массы при хранении по сравнению с контрольной группой. Полученные результаты в целом подтвердили предварительные ожидания, основанные на данных о применении ингибиторов этилена для других плодовоовощных культур (Гудковский, 2010; Гудковский & Акишин, 2010; Невзорова, 2011). В частности, уменьшение потерь массы в 1,2–1,3 раза и повышение качества плодов всех исследуемых сортов после обработки «Фитомагом» были ожидаемыми исходя из его механизма действия, связанного с ингибированием биосинтеза этилена. Однако наиболее значительное улучшение качества, отмеченное у сорта Алмазный (повышение качества в 1,8 раза), оказалось выше прогнозируемого уровня и вызвало интерес к дальнейшему изучению сортовых особенностей и их влияния на эффективность применения ингибиторов.

Исследование показало, что обработка ингибитором этилена «Фитомаг» приводит к замедлению метаболических процессов, снижению активности ферментов, ответственных за созревание и старение плодов, что предотвращает их увядание (Watkins, 2006; Fan, 1999). Данные результаты согласуются с выводами других авторов, изучавших влияние 1-метилциклопропена и других ингибиторов этилена на овощные и фруктовые культуры

(Blankenship & Dole, 2003; Schaller & Binder, 2017; Martínez-Romero et al., 2007). Однако в данном исследовании впервые было рассмотрено влияние «Фитомага» на плоды баклажан технической зрелости, что делает эти результаты уникальными и значимыми для практики хранения этой культуры.

Все исследованные сорта показали улучшение качества после обработки препаратом. Наибольшая эффективность была достигнута для сорта Алмазный, что может быть обусловлено его высокой устойчивостью к потерям массы и особенностями химического состава. У других сортов, таких как Черный цилиндр и Сиреневый, также отмечалось значительное улучшение показателей (в 1,3 раза), что подтверждает общую эффективность применения ингибитора этилена для различных сортов баклажан. Результаты также продемонстрировали, что обработка препаратом «Фитомаг» способствовала сохранению основных химических веществ в плодах. У сорта Алмазный содержание химических компонентов после обработки оставалось высоким как в сравнении с контролем, так и с другими сортами. Этот аспект может быть связан с сортовыми различиями в структуре клеточных стенок и содержании полимеров, что требует дальнейшего изучения для оптимизации применения ингибиторов этилена к различным сортам баклажан.

С практической точки зрения, полученные данные указывают на перспективность применения «Фитомага» для продления срока хранения баклажан при минимальных потерях качества. Это открывает новые возможности для логистики и хранения овощной продукции, особенно в условиях повышенного спроса и необходимости длительной транспортировки. Тем не менее, данное исследование имеет некоторые ограничения. Оно проводилось в условиях естественно сложившихся температурно-влажностных режимов, что могло повлиять на результаты и их вариабельность.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований подтвердили, что обработка плодов баклажан ингибитором этилена «Фитомаг» способствует значительному повышению качества продукции во время хранения. Через шесть суток хранения качество плодов в контрольной группе составляло 29,6%, тогда как

в обработанных образцах оно достигало 39,3%, что на 30% выше. Потери массы обработанных плодов составили 9,87%, что существенно меньше по сравнению с контрольной группой (11,3%). Полученные данные демонстрируют высокую эффективность «Фитомага» для увеличения срока хранения и уменьшения потерь массы плодов баклажан.

На основе проведенного исследования можно рекомендовать использование ингибитора этилена «Фитомаг» производителям баклажанов и предприятиям перерабатывающей промышленности. Применение этого метода позволит продлить срок хранения и обеспечить население качественными продуктами питания на более длительный период.

В перспективе предполагается исследование воздействия ингибитора «Фитомаг» на хранение других овощных культур, включая томаты и сладкий перец, с участием как существующих, так и новых сортов селекции ВНИИОБ (Всероссийского научно-исследовательского института орошаемого овощеводства и бахчеводства), предназначенных для различных видов переработки и использования.

Для повышения достоверности результатов будущие исследования должны включать тестирование в контролируемых условиях, что позволит подтвердить стабильность и воспроизводимость полученных данных. Кроме того, расширение экспериментов на другие виды овощных культур по-

зволит более полно оценить универсальность и эффективность применения ингибитора «Фитомаг» и усовершенствовать методику его использования в агропромышленном производстве.

## АВТОРСКИЙ ВКЛАД

**Александр Владимирович Гулин:** визуализация, разработка концепции, редактирование

**Мачулкина Вера Александровна:** проведение исследований, разработка методологии, создание и редактирование

**Ольга Петровна Кигашпаева:** формальный анализ

**Лариса Петровна Лаврова:** написание черновика рукописи.

## AUTHOR CONTRIBUTIONS

**Alexander V. Gulin:** visualization, conceptualization, editing

**Vera A. Machulkina:** investigation, methodology, preparation and editing **Kigashpaeva Olga Petrovna:** formal analysis

**Larisa P. Lavrova:** specifically writing the initial draft.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Гудковский В.А., Кожина, Л.В., Балакирев, А.Е., & Назаров, Ю.Б., (2010). Инновационные технологии хранения плодов. *Достижения науки и техники АПК*, (8), 72–74.
- Gudkovsky V.A., Kozhina, L.V., Balakirev, A.E., & Nazarov, Yu.B. (2010). Innovative fruit storage technologies. *Achievements of Science and Technology of the Agroindustrial Complex*, (8), 72–74. (In Russ).
- Гудковский, В. А., & Акишин, Д.В. (2010). Эффективность применения ингибитора этилена «Фитомаг» и полимерных упаковок при хранении плодов томата. *Достижения науки и техники АПК*, (8), 74–76.
- Gudkovsky, V. A., & Akishin, D.V. (2010). Efficiency of ethylene inhibitor «Phytomag» application and polymeric packing by storing tomato fruits. *Achievements of Science and Technology of the Agroindustrial Complex*, (8), 74–76. (In Russ).
- Гудковский, В.А., Кожина, Л.В., Балакирев, А.Е., & Назаров, Ю.Б. (2009). Эффективность модифицированной атмосферы и ингибитора биосинтеза этилена для хранения плодов, ягод и овощей. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*, (1), 53–64.
- Gudkovsky, V.A., Kozhina, L.V., Balakirev, A.E., & Nazarov, Yu.B. (2009). Efficiency of a modified atmosphere and an inhibitor of ethylene biosynthesis for storing fruits, berries and vegetables. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, (1), 53–64. (In Russ).
- Гудковский, В.А., Кожина, Л.В., Балакирев, А.Е., & Назаров, Ю.Б. (2009). Современные и перспективные технологии хранения плодов семечковых, косточковых и ягодных культур. *Достижения науки и инновации в садоводстве*, (7), 39–43.
- Gudkovsky, V.A., Kozhina, L.V., Balakirev, A.E., & Nazarov, Yu.B. (2009). Modern and promising technologies for

- storing fruits of pome, stone and berry crops. *Scientific Achievements and Innovations in Horticulture*, (7), 39–45. (In Russ).
- Гудковский, В.А., Кожина, Л.В., Гучева, Р.Б., Сутормина, А.В., & Назаров, Ю.Б. (2010). Качество плодов районированных и перспективных сортов СКФО в условиях РА. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*, (1), 117–120.
- Gudkovsky, V. A., Kozhina, L. V., Gucheva, R. B., Sutormina, A. V., & Nazarov, Yu. B. (2010). The quality of fruits of zoned and promising varieties of the North Caucasus Federal District in the conditions of the Republic of Armenia. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, (1), 117–120. (In Russ).
- Гучева, Р.Б., Гудковский, В.А., Кожина, Л.В., & Назаров, Ю.Б. (2010). Влияние динамичной атмосферы на развитие физиологических заболеваний при хранении плодов сорта Ред Чиф. *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*, (1), 121–124.
- Gucheva, R.B., Gudkovsky, V.A., Kozhina, L.V., & Nazarov, Yu.B. (2010). The influence of a dynamic atmosphere on the development of physiological diseases during the storage of fruits of the Red Chief variety. *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, (1), 121–124. (In Russ).
- Гудковский В.А., Кожина Л.В., Парфенов В.Н. (2010) Разработка технологических основ транспортирования скоропортящихся плодов и овощей с использованием препарата «Фитомаг». *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*, (1), 78–85.
- Gudkovsky V.A., Kozhina L.V., Parfenov V.N. (2010) Development of technological bases for the transportation of perishable fruits and vegetables using the drug «Phytomag». *Bulletin of Michurinsk State Agrarian University*, (1), 78–85. (In Russ).
- Доспехов, Б.А. (1989). *Методика полевого опыта*. М.: Агропромиздат.
- Dospikhov, B.A. (1989). *Methodology of field experience*. М.: Agropromizdat. (In Russ).
- Дубовицкая, А.Л., & Климентова, Э. А. (2014). Проблемы и перспективы развития овощеводства. *Технология пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (3), 89–95.
- Dubovitskaya, A. L., & Klimentova, E. A. (2014). Problems and prospects of vegetable growing development. *Technology of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex — Healthy Food Products*, (3), 89–95. (In Russ).
- Ермаков, Е. И. (1987). *Методы биохимического исследования растений*. СПб.: Агропромиздат.
- Ermakov, E. I. (1987). *Methods of biochemical research of plants*. St. Petersburg: Agropromizdat. (In Russ)
- Иванова В. Н., Серегин, С. Н., & Байгот, М. С. (2015). Реализация агропродовольственной политики ЕАЭС — платформа решения продовольственной безопасности. *Пищевая промышленность*, (10), 8–11.
- Ivanova V.N., Seregin, S.N., & Baigot, M.S. (2015). The implementation of the agro-food policy of the EAEU is a platform for solving food security. *Food Industry*, (10), 8–11. (In Russ).
- Иванова, В.Н., Серегин, С.Н., & Новосельцева, А.В. (2016). Рост сельскохозяйственного производства как фактор развития пищевой промышленности и продовольственного рынка России. *Пищевая промышленность*, (2), 8–12.
- Ivanova, V.N., Seregin, S.N., & Novoseltseva, A.V. (2016). The growth of agricultural production as a factor in the development of the food industry and the Russian food market. *Food Industry*, (2), 8–12. (In Russ).
- Кигашпаева, О. П., & Авдеев, А. Ю. (2016). Новые сорта баклажана для консервирования. *Картофель и овощи*, (7), 35–36. <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2020-1-12>
- Kigashpaeva, O. P., & Avdeev, A.Yu. (2016). New varieties of eggplant for canning. *Potatoes and vegetables*, (7), 35–36. (In Russ). <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2020-1-12>
- Кигашпаева, О. П., Авдеев, А. Ю., Джабраилова, В. Ю., & Сисенгалиева, С. Т. (2019). Доноры сложной плодовой кисти баклажана, как фактор повышения урожайности. *Проблемы развития АПК региона*, (4), 77–81. <https://doi.org/10.15217/2079-0996.2019.4.77>
- Kigashpaeva, O. P., Avdeev, A. Yu., Dzhabrailova, V. Yu., & Sisengaliev, S. T. (2019). Donors of a complex eggplant fruit brush as a factor in increasing yields. *Problems of Agro-Industrial Complex Development in the Region*, (4), 77–81. (In Russ). <https://doi.org/10.15217/2079-0996.2019.4.77>
- Лельевелд, Х., & Кулиев, Д. Х. (2016). Пищевая безопасность: научный подход. *Контроль качества продукции*, (2), 8–12.
- Leljeveld, H., & Kuliev, D.H. (2016). Food safety: A scientific approach. *Product Quality Control*, (2), 8–12. (In Russ).
- Маринеску М.Ф. (2019). Морфологические и гистологические изменения плодов осеннего и зимнего сортов груши в процессе хранения. В *Știința în Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective* (с. 132–136). Кишинёв: Indigou Color.
- Marinescu M.F. (2019). Morphological and histological changes in fruits of autumn and winter pear varieties during storage. In *Știința în Nordul Republicii Moldova: realizări, probleme, perspective* (pp. 132–136). Chisinau: Indigou Color. (In Russ).
- Маринеску, М. Ф., Гавюк, Л. А., & Бежан, Н. А. (2021). Влияние послеуборочной обработки препаратом фитомаг на лежкость плодов сливы поздних сортов. *МЦНП «Новая наука»*, (1), 46–53
- Marinescu, M. F., Gaviuk, L. A., & Bejan, N. A. (2021). The effect of post-harvest treatment with phytomag on the keeping quality of plum fruits of late varieties. *ICNP «New Science»*, (1), 46–53. (In Russ).
- Матисон, В.А., & Арутюнова, Н.И. (2016). Качество продуктов питания. *Пищевая промышленность*, (4), 50–54.
- Mathison, V. A., & Arutyunova, N. I. (2016). The quality of food. *Food Industry*, (4), 50–54. (In Russ).
- Мачулкина, В. А., Санникова, Т. А. & Гулин, А. В. (2020). Плоды баклажан — ценный диетический продукт. *Орошаемое земледелие*, (1), 55–59. (In Russ). <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2020-1-12>
- Machulkina, V. A., Sannikova, T. A. & Gulina, A. V. (2020). Eggplant fruits are a valuable dietary product. *Irrigated*

- Agriculture*, (1), 55–59. (In Russ). <https://doi.org/10.35809/2618-8279-2020-1-12>
- Мачулкина, В. А., Санникова, Т. А., Гулин, А. В., & Антипенко, Н. И. (2020). Изменение качества плодов баклажана при кратковременном хранении. *Материалы международной научно-практической конференции: Итоги и перспективы развития агропромышленного комплекса* (с. 41–44). с. Солоное Займище: ФГБНУ «Прикаспийский аграрный федеральный научный центр Российской академии наук».
- Machulkina, V.A., Sannikova, T.A., Gulin, A.V., & Antipenko, N.I. (2020). Changes in the quality of eggplant fruits during short-term storage. *Materials of the international scientific and practical conference: Results and prospects for the development of the agro-industrial complex* (p. 41–44). v. Solenoye Zaimishche: FSBSI «Precaspian Agrarian Federal Scientific Center of the Russian Academy of Sciences». (In Russ).
- Мачулкина, В. А., Санникова, Т. А., Пучков, М. Ю., & Антипенко, Н. И. (2015). Экологическая безопасность баклажана от возраста и размера. *Технология пищевой и перерабатывающей промышленности АПК — продукты здорового питания*, (3), 39–44.
- Machulkina, V. A., Sannikova, T. A., Puchkov, M. Yu., & Antipenko, N. I. (2015). The environmental safety of eggplant depends on age and size. *Technology of the Food and Processing Industry of the Agro-Industrial Complex — Healthy Food Products*, (3), 39–44. (In Russ).
- Минаков, И.А. (2016). Продовольственная безопасность в сфере производства и потребления овощной продукции. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*, (1), 11–16.
- Minakov, I.A. (2016). Food security in the field of production and consumption of vegetable products. *Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy*, (1), 11–16. (In Russ).
- Невзорова, А. В. (2011). Влияние препарата «Фитомаг» на сохраняемость плодов томата. *Инновационные идеи молодых исследователей для АПК России: сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции* (т. 1, с. 33–35). Пенза: РИО ПГСХА.
- Nevzorova, A. V. (2011). The effect of the drug «Phytomag» on the preservation of tomato fruits. *Innovative Ideas of Young Researchers for the Agro-Industrial Complex of Russia: Collection of Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference* (vol. 1, pp. 33–35). Penza: RIO PGSHA. (In Russ).
- Першакова, Т. В., Купин Г. А., Семиряжко, Г. С., & Тягушева, А. А. (2023). Исследование влияния параметров обработки на органолептические показатели и величину потерь нарезанной моркови в процессе хранения. *Научные труды СКФНЦСВВ*, (36), 217–220. <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2023-36-217-220>
- Pershakova, T.V., Kupin G.A., Semiryazhko, G.S., Tyagushcheva, A.A. (2023). Investigation of the effect of processing parameters on organoleptic parameters and the amount of losses of sliced carrots during storage. *Scientific Papers of the NCFNCSVV*, (36), 217–220. (In Russ). <https://doi.org/10.30679/2587-9847-2023-36-217-220>
- Ракитин, В.Ю., & Ракитин, Л.Ю. (1986). Определение газообмена и содержания этилена, двуокиси углерода и кислорода в тканях растений. *Физиология растений*, 33(2), 403–413.
- Rakitin, V.Yu., & Rakitin, L.Yu. (1986). Determination of gas exchange and the content of ethylene, carbon dioxide and oxygen in plant tissues. *Plant Physiology*, 33(2), 403–413. (In Russ).
- Сутормина, А.В., & Акишин, Д.В. (2014). Использование ингибитора биосинтеза этилена. *Инновационные технологии в производстве функциональных продуктов питания: материалы Всероссийской научно-практической конференции* (с. 114–118). Мичуринск: Издательство ООО «БИС».
- Sutormina, A.V., & Akishin, D.V. (2014). The use of an inhibitor of ethylene biosynthesis. *Innovative technologies in the production of functional food products: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference* (pp. 114–118). Michurinsk: Publishing house of BIS LLC. (In Russ).
- Blankenship, S., & Dole, J. M. (2003). Methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 1–25. [https://doi.org/10.1016/S0925\\_5214\(02\)00246-6](https://doi.org/10.1016/S0925_5214(02)00246-6)
- Schaller, G.E., & Binder, B.M. (2017). Inhibitors of Ethylene Biosynthesis and Signaling. In B. Binder, & E. G. Schaller (Eds.), *Ethylene signaling. Methods in molecular biology* (vol. 1573, pp. 223–235). NY: Humana Press. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6854-1\\_15](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-6854-1_15)
- Fan, X., Blankenship, S. M., & Mattheis, J. P. (1999). 1-Methylcyclopropene inhibits apple ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 124(6), 690–695. <https://doi.org/10.21273/jashs.124.6.690>
- Jin, P., Shang, H., Chen, J., Zhu, H., Zhao, Y., & Zheng, Y. (2011). Effect of 1-methylcyclopropene on chilling injury and quality of peach fruit during cold storage. *Journal of Food Science*, 76(8), S485–S491. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02349.x>
- Sisler, E. S., & Blankenship, S. M. (1996). *Method of counteracting an ethylene response in plants*. U.S. Patent 5518988
- Martínez-Romero, D., Bailén, G., Serrano, M., Guillén, F., Valverde, J. M., Zapata, P., Castillo, S., & Valero, D. (2007). Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 47(6), 543–560. <https://doi.org/10.1080/10408390600846390>
- Watkins, C. B., Nock, J. F., & Whitaker, B. D. (2000). Responses of early, mid and late season apple cultivars to postharvest application of 1-methylcyclopropene (1-MCP) under air and controlled atmosphere storage conditions. *Postharvest Biology and Technology*, 19(1), 17–32. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(00\)00070-3](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(00)00070-3)
- Watkins, C. B. (2006). The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnology Advances*, 24(4), 389–409. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.005>