

ISSN 2712-7648

HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY

VOLUME 6 • ISSUE 2 • SEPTEMBER 2024



HFB
HEALTH, FOOD & BIOTECHNOLOGY



№ 2 – 2024

Периодичность издания – 4 номера в год

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ)

Редакция

Заведующий редакцией — Тихонова
Елена Викторовна

Выпускающий редактор — Косычева
Марина Александровна

Редактор по этике — Косычева
Марина Александровна

Ответственный секретарь — Лаптева
Елена Александровна

Медийный редактор — Щербакова
Екатерина Олеговна

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации ЭЛ №ФС77-72959 от 25 мая 2018 г.

Адрес:

125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
Тел. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: hfb@mgupp.ru
Официальный сайт учредителя: mgupp.ru
Официальный сайт редакции: hfb-mgupp.com

© ФГБОУ ВО «Российский биотехнологический университет» (РОСБИОТЕХ), 2024.

№ 2 – 2024

Periodicity of publication – 4 issues per year

Founder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian Biotechnological University» (BIOTECH University)

Editorial Team

Head of Editorial Team — Elena V. Tikhonova

Editor of Issue — Marina A. Kosycheva

Ethics Editor — Marina A. Kosycheva

Executive Secretary — Elena A. Lapteva

Social Media and Product Editor — Ekaterina O. Shcherbakova

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 EL No FS77-72959 dated May 25, 2018.

Address::

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080
Tel. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: hfb@mgupp.ru
Official web site of Founder: mgupp.ru
Official web site of the Editorial Office: hfb-mgupp.com

© FSBEI HE «Russian Biotechnological University» (BIOTECH University) , 2024.

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Данильчук Татьяна Николаевна Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия

ЧЛЕНЫ РЕДАКЦИОННОГО СОВЕТА

Абдуллаева Асият Мухтаровна	Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия
Андреева Татьяна Ивановна	Институт пластмасс им. Г.С. Петрова, Россия
Бычков Алексей Леонидович	Институт химии твёрдого тела и механохимии СО РАН, Россия
Данильчук Татьяна Николаевна	Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия
Джавахян Марина Аркадьевна	Московский государственный медико-стоматологический университет им А.И. Евдокимова, Россия
Жилякова Елена Теодоровна	Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия
Игнар Штефан	Варшавский университет естественных наук, Польша
Игнатенко Григорий Анатольевич	Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР
Кирш Ирина Анатольевна	Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия
Коврига Владислав Витальевич	ООО «Группа «Полимертепло», Россия
Корокин Михаил Викторович	Белгородский национальный исследовательский университет, Россия
Куркин Денис Владимирович	Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова, Россия
Маль Галина Сергеевна	Курский государственный медицинский университет, Россия
Налетов Андрей Васильевич	Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, ДНР
Новиков Олег Олегович	Научно-образовательный ресурсный центр РУДН, Россия
Оковитый Сергей Владимирович	Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Россия
Присный Андрей Андреевич	Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Россия
Сагян Ашот Серобович	Национальная Академия наук РА, Республика Армения
Самбандам Ананадан	Национальный институт технологий, Индия
Северинов Константин Викторович	Институт молекулярной генетики НИЦ «Курчатовский институт», Россия
Серба Елена Михайловна	Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии филиал Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи (ВНИИПБТ – филиал ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»), Россия
Симонов-Емельянов Игорь Дмитриевич	Российский технологический университет МИРЭА, Россия
Фриас Йезус	Дублинский технологический институт, Ирландия
Цыганова Татьяна Борисовна	Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Россия
Чалых Татьяна Ивановна	Российский экономический университет им. Г.В. Плеханова, Россия
Щетинин Михаил Павлович	Международная промышленная академия, Россия

EDITORIAL BOARD

EDITOR-IN-CHIEF**Tatyana N. Danilchuk**

Russian Biotechnological University (BIOTECH University)

MEMBERS OF THE EDITORIAL BOARD**Asiyat M. Abdullaeva**

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Tatyana I. Andreeva

G.S. Petrov Scientific Research Institute of Plastics, Russia

Aleksey L. Bychkov

Institute of Solid-State Chemistry and Mechanochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Russia

Tatyana N. Danilchuk

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Marina A. Dzhevakhyan

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Russia

Elena T. Zhilyakova

Belgorod State University, Russia

Jesus Frias

Dublin Institute of Technology, Ireland

Stefan Ignar

Warsaw University of Life and Sciences, Poland

Grigory A. Ignatenko

Donetsk National Medical University, DPR

Irina A. Kirsh

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

Mikhail V. Korokin

Belgorod State University, Russia

Vladislav V. Kovriga

Polymerteplo Group, Russia

Denis V. Kurkin

A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Russia

Galina S. Mal

Kursk State Medical University, Russia

Andrey V. Nalyotov

Donetsk National Medical University, DPR

Oleg O. Novikov

RUDN University Shared Research and Educational Centre, Russia

Sergey V. Okovityi

Saint-Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Russia

Andrey A. Prisnyi

Belgorod State University, Russia

Ashot S. Saghyan

National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Armenia

Anandan Sambandam

National Institute of Technology of Tiruchirappalli, India

Elena M. SerbaAll-Russian Research Institute of Food Biotechnology, Federal Research **Center for Nutrition**, Biotechnology and Food Safety, Russia**Konstantin V. Severinov**

Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Russia

Igor D. Simonov-Emelyanov

MIREA-Russian Technological University, Russia

Mikhail P. Schetinin

International Industrial Academy, Russia

Tatyana I. Tchalykh

Russian University of Economics named after G. V. Plekhanov, Russia

Tatyana B. Tsyganova

Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Russia

СОДЕРЖАНИЕ

РЕДАКТОРСКАЯ СТАТЬЯ

Е.В. Тихонова, М.А. Косычева
Ретракции в академическом дискурсе: от стигмы к культуре научной ответственности..... 6

ЗДОРОВЬЕ

С.А. Михеева, М.В. Степанова
Загрязнения окружающей среды бытовыми и промышленными отходами
в Центральном федеральном округе 16

БИОТЕХНОЛОГИИ

Д.В. Карпенко, А.Г. Гришин
Применение обработки низкотемпературной плазмой в пищевых производствах
для интенсификации технологических процессов и повышения качества продукции..... 27

М.С. Каночкина, Д.М. Гернет
Разработка технологической блок-схемы и состава косметического средства для профилактики
воспалительных заболеваний кожи (систематический обзор предметного поля) 42

П.В. Шабанова, А.В. Аббаева
Разработка биоразлагаемых активных материалов на основе полилактида, бактериальной
наноцеллюлозы и растительных экстрактов..... 58

CONTENTS

EDITORIAL

Elena V. Tikhonova, Marina A. Kosycheva
Retractions in Academic Discourse: From Stigma to the Culture of Responsibility in Science 7

HEALTH

Sofia A. Mikheeva, Marina V. Stepanova
Environmental Pollution by Household and Industrial Waste in the Central Federal District..... 17

BIOTECHNOLOGY

Dmitry V. Karpenko, Artyom G. Grishin
Application of Low-Temperature Plasma Treatment in Food Production to Intensify Technological Processes
and Improve Product Quality 28

Maria S. Kanochkina, Daria M. Gernet
Development of a Technological Flowchart and the Main Components of the Composition of a Cosmetic Product
for the Prevention of Inflammatory Skin Diseases (Systematic Scoping Review) 43

Polina V. Shabanova, Anna V. Abaeva
Development of Biodegradable Active Materials Based on Polylactide, Nanobacterial Cellulose
and Plant Extracts 59

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s236>

Ретракции в академическом дискурсе: от стигмы к культуре научной ответственности

Е.В. Тихонова, М.А. Косычева

Российский государственный
геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
Москва, Россия

Корреспонденция:

Тихонова Елена Викторовна,
Российский государственный
геологоразведочный университет
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ),
117485, Россия, г. Москва,
ул. Миклухо-Маклая, 23
E-mail: tikhonovaev@mgi.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

Поступила: 01.08.2024

Поступила после
рецензирования: 06.08.2024

Принята: 12.08.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Увеличение числа ретракций научных статей связано с ростом публикационной активности и усилением контроля над качеством исследований, однако этот процесс сопровождается негативной стигматизацией авторов. Дискуссии вокруг ретракций затрагивают не только вопросы научной этики авторов, но и репутационные риски для исследователей и издателей.

Целью текущей статьи является анализ основных причин ретракции и типичной политики научных журналов по реализации процесса ретракции; выявление факторов, способствующих стигматизации авторов, чьи работы были отозваны, а также путей для изменения научной культуры, направленных на снижение негативного воздействия ретракций.

Политика журналов в отношении ретракции. Освещается, как научные журналы управляют процессом ретракций, включая использование различных формулировок, таких как «частичная ретракция» или «самостоятельная ретракция», которые могут смягчать последствия отзыва публикаций.

Стигматизация ретракции и ее последствия для научного знания. Обсуждаются негативные эффекты ретракций для авторов, включая утрату доверия коллег, снижение шансов на получение грантов и ухудшение репутации. Рассматривается проблема неравномерного подхода к ретракциям в зависимости от причины отзыва работы.

Культура ретракций. Суммируются рекомендации по созданию более прозрачной и конструктивной системы ретракций, которая бы способствовала коррективке научной литературы без наложения стигмы на авторов, допустивших ошибки в своей работе.

Заключение. Авторы статьи подчеркивают необходимость изменения текущей академической культуры, в которой ретракция воспринимается как стигматизирующий фактор. Предлагается пересмотреть политику ретракций, сделать её более прозрачной и справедливой, а также внедрить систему поощрения авторов за своевременное исправление ошибок. Это позволит укрепить доверие к научному процессу и создать условия для более ответственного подхода к публикационной этике.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

ретракция, публикационная этика, научные стандарты, индекс ретракций, стигматизация отзыва научной статьи, культура ретракции



Для цитирования: Тихонова, Е.В., & Косычева, М.А.(2024). Ретракции в академическом дискурсе: от стигмы к культуре научной ответственности. *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 6–15. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s236>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s236>

Retractions in Academic Discourse: From Stigma to the Culture of Responsibility in Science

Elena V. Tikhonova, Marina A. Kosycheva

Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI), Moscow, Russia

Correspondence:

Elena V. Tikhonova,
Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting (MGRI), 23, Miklouho-Maclay St., Moscow, 117997, Russia
E-mail: tikhonovaev@mgri.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 01.08.2024

Received in revised form: 06.08.2024

Accepted: 12.08.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. The increase in retractions of research articles is associated with the growth of publication activity and additional control over the quality of research, but this process is accompanied by negative stigmatization of authors. Discussions around retractions affect not only the issues of scientific ethics of authors, but also reputational risks for researchers and publishers.

The purpose of the current article is to analyze the main reasons for retraction and typical policies of scientific journals on the implementation of the retraction process; to identify factors contributing to the stigmatization of authors whose works have been retracted, as well as ways to change the scientific culture aimed at reducing the negative impact of retractions.

Journal policies on retraction. It highlights how scientific journals manage the retraction process, including the use of different notions, such as "partial retraction" or "self-retraction", which can mitigate the consequences of retraction.

The stigmatization of retraction and its consequences for scientific knowledge. The negative effects of retractions on authors, including loss of trust among colleagues, reduced chances of receiving grants, and reputational damage, are discussed. The problem of uneven approach to retractions depending on the reason for retraction is considered.

Retraction culture. Recommendations for creating a more transparent and constructive retraction system that would facilitate the correction of scientific literature without stigmatizing authors who have made errors in their work are summarized.

Conclusion. The authors of the article emphasize the need to change the current academic culture, in which retractions are perceived as a stigmatizing factor. It is proposed to revise the retraction policy, make it more transparent and fair, and introduce a system of incentives for authors for timely correction of errors. This will strengthen trust in the scientific process and create conditions for a more responsible approach to publication ethics.

KEYWORDS

retraction, publication ethics, scientific standards, retraction index, stigmatization of research article retraction, retraction culture



To cite: Tikhonova, E.V., & Kosycheva, M. A. (2024). Retractions in academic discourse: From stigma to the culture of responsibility in science. *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 6–15. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s236>

ВВЕДЕНИЕ

Ретракция научных публикаций представляет собой корректирующий механизм, который используется для устранения серьезных ошибок или нарушений в исследованиях, таких как фальсификация данных, плагиат или ошибки в методологии. Согласно Fang & Casadevall (2011), ретракции играют ключевую роль в поддержании достоверности научной литературы и доверия к процессу публикации, что особенно важно для предотвращения использования недостоверных данных в дальнейшем.

В период с 2003 по 2022 год, по данным международной базы данных WoS, количество ретракций увеличивалось до 2019 года, после чего наблюдалось снижение. Данный факт можно интерпретировать как признак усиления контроля в научной среде и повышения эффективности систем обнаружения научных ошибок и нарушений (Koo & Lin, 2024). Однако, возможно, эта тенденция также отражает временной лаг, необходимый для выявления проблем и принятия решений о ретракции. Основными причинами ретракций выступают проблемы с данными и результатами, плагиат и дублирование, а также нарушения этики исследования (Ko & Lin, 2024; Fang et al., 2012; Almeida et al., 2015). Обнаружение подобных нарушений подчеркивает важность соблюдения стандартов качества научных данных и необходимость более тщательной проверки материалов на всех этапах публикационного процесса. Китай и США оказались лидерами по числу ретракций, что может быть связано с большими объемами научной продукции, производимой этими странами (Ko & Lin, 2024).

Необходимость улучшения систем проверки качества научных публикаций на всех уровнях, от рецензирования до публикации, а также в формате пост публикационного открытого рецензирования обусловлены кризисом рецензирования, кризисом воспроизводимости результатов оригинальных исследований и развитием формата открытой науки (Fang et al., 2012). Очевидна тотальная трансформация формата деятельности научных изданий, но не менее очевидной является и неотвратимость допущения ошибок в процессе исследования, и некоторые ошибки в статьях не могут быть просто откорректированными, но должны быть отозваны и исключены из оборота научных идей (Teixeira da Silva и Dobránszki, 2017). Отсюда, формирование прозрачной и открытой культуры ретракции и оперирование едиными механизмами ретракции в глобальном академическом сообществе являются не просто значимыми, но жизненно необходимыми инструментами академической культуры (Тихонова и соавт., 2023). Создание такой культуры требует дальнейшего изучения рейтинга ретракции, факторов ее стигматизации и политик редакций научных журналов по преодолению фальсификации и недостоверности научного знания.

Цель данной статьи — проанализировать основные причины роста ретракций, их последствия для научного сообщества и текущие политики научных журналов в отношении данного процесса. Особое внимание уделяется вопросу, как ретракции помогают поддерживать высокие стандарты научной деятельности и укреплять доверие к опубликованным данным.

ПРИЧИНЫ РЕТРАКЦИЙ

Ретракции могут возникать по различным причинам, однако наиболее распространенными являются (Bargilan & Halevi, 2018):

- (1) Этические нарушения — включают плагиат, дублирование публикаций, манипуляции с авторством, несоблюдение этических норм исследований (например, отсутствие одобрения институционального совета по этике, нарушение авторских прав, манипуляции с рецензированием, незадекларированный конфликт интересов).
- (2) Научные искажения — касаются манипуляций с данными, фальсификации, неправильной интерпретации данных, неприменимости выводов или некорректной репликации результатов. Эти ретракции представляют наибольшую угрозу для науки, так как распространяют ложную информацию, которая может повлиять на дальнейшие исследования и общество в целом.
- (3) Административные ошибки — технические и издательские ошибки, такие как неправильная версия статьи или публикация в неверном выпуске журнала.

Наиболее тревожной из этих категорий является вторая — научные искажения. Именно такие публикации несут значительные риски, так как вводят в заблуждение не только научное сообщество, но и влияют на принятие решений в реальных практиках и политике.

ПОЛИТИКА РЕТРАКЦИЙ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛОВ

Политика ретракций регулируется международными и национальными организациями, такими как *Committee on Publication Ethics (COPE)* и Ассоциация научных редакторов и издателей (АНРИ). Журналы, следуя их рекомендациям, вырабатывают собственные правила, регламентирующие процесс ретракции.

Примером такой политики является регламент журнала «Научный редактор и издатель» (далее — Журнал). Целью ретракции, в риторике Журнала, является информирование читателей о серьезных ошибках или недостоверности данных, которые могут привести к необъективным

выводам. Журнал подчеркивает, что недостоверность может быть вызвана как добросовестными заблуждениями, так и преднамеренными нарушениями, такими как плагиат или фальсификация данных. Редакция Журнала особо указывает на то, что ретракция не является инструментом дискредитации авторов, а служит поддержанию научной честности. А потому, ретракции могут быть инициированы самими авторами, если они обнаружили ошибки в своих исследованиях, что является важным проявлением гражданской позиции и научной честности ученых.

Процедура ретракции включает в себя уведомление авторов о планируемом отзыве, анализ кейса редакционной коллегией и публикацию заключения о ретракции на сайте журнала. Информация о ретракции также направляется в наукометрические базы данных, такие как elibrary.ru и Совет по этике научных публикаций (СЭНП) АНРИ.

Формулирование записи о ретракции

Запись о ретракции должна предоставлять полную и прозрачную информацию, чтобы читатели и научное сообщество могли понять причины отзыва статьи и избежать дальнейших ошибок, связанных с ее использованием. Исследование Debnath et al. (2023) показало, что многие опубликованные в базах данных уведомления о ретракции неполны, расплывчаты и даже используют эвфемизмы вместо четкого описания проблемы. Более того, даже в случаях установления в результатах внутреннего аудита, что авторы сознательно нарушают этику, они сами пишут текст для записи о ретракции (Fang et al., 2012), что, собственно, и приводит к осознанной неопределенности формулировок. Чтобы обеспечить полезность и надежность уведомления о ретракции, оно должно содержать следующие элементы:

- (1) Заголовок и DOI отозванной статьи: важно, чтобы заголовок статьи и её уникальный цифровой идентификатор (DOI) были включены в уведомление для обеспечения точной идентификации работы.
- (2) Четкое указание причины ретракции: вместо расплывчатых терминов, таких как «компрометация рецензирования» или «плагиат изображений», следует использовать точные формулировки. Например, «плагиат», «манипуляция данными», «ошибки в методологии». Debnath et al. (2023) отметили, что в 98 % случаев ретракции вследствие плагиата слово «плагиат» вообще не упоминалось, что ведет к неполному пониманию сути проблемы.
- (3) Информация о том, кто инициировал ретракцию: Уведомление должно ясно указывать, кто поднял вопрос о необходимости отзыва статьи — редакция,

авторы или третья сторона. Важно, чтобы это было четко задокументировано.

- (4) Дата публикации и дата ретракции: важно указать, когда статья была опубликована и когда произошла ретракция, чтобы читатели могли понять, насколько долго недостоверная информация оставалась в научной среде.
- (5) Подтверждение согласия авторов на ретракцию: в записи должно быть указано, согласились ли авторы с ретракцией, поскольку зачастую авторы не отвечают на запросы редакции в ходе расследования случаев компрометирующих публикацию или не соглашаются на ретракцию.
- (6) Дополнительные причины ретракции (если применимо): иногда у статьи может быть несколько причин для отзыва, такие как одновременно плагиат и ошибки в данных. Эти дополнительные причины должны быть четко изложены в уведомлении.
- (7) Заявление о цитировании отозванной статьи: уведомление о ретракции должно включать заявление о том, что данная статья отозвана, и её использование в последующих исследованиях недопустимо. Это необходимо, поскольку ретрагированные статьи продолжают цитироваться даже после их отзыва из журнала, что ведет к распространению недостоверной информации.

Пошаговый пример описания кейса¹ по ретракции:

Заголовок:

Retraction notice: «Effects of a novel drug on reducing blood pressure in patients with hypertension»

DOI:

10.1000/journalname.2023.01234

Дата публикации статьи:

15 января 2023 г.

Дата ретракции:

30 августа 2023 г.

Причина ретракции:

Статья была отозвана по причине серьёзных ошибок в анализе данных, которые привели к неверным выводам о влиянии препарата на артериальное давление. Ошибки были выявлены в ходе внутреннего аудита, инициированного третьей стороной, после публикации. Также было установлено, что в статье использовались изображения, подвергшиеся некорректной цифровой обработке, что противоречит этическим стандартам журнала.

¹ Данный пример составлен авторами и не является частью реального процесса ретракции.

Инициатор ретракции:

Редакционная коллегия журнала инициировала ретракцию статьи после получения отчета от внешнего исследователя, который сообщил о проблемах с данными и методологией.

Согласие авторов:

Авторы согласились с решением о ретракции после ознакомления с результатами аудита.

Дополнительные причины ретракции:

Помимо ошибок в данных, было выявлено несоответствие в составе авторов. Один из заявленных авторов не соответствовал критериям авторства, что также стало основанием для ретракции.

Заявление:

Статья отозвана, и её результаты не должны использоваться в дальнейших исследованиях. Любое цитирование данной работы должно сопровождаться упоминанием о её ретракции. Полный текст статьи остаётся доступным на сайте журнала с пометкой «ОТОЗВАНА/RETRACTED».

Не все случаи плагиата требуют ретракции?

В научной литературе активно обсуждаются риски, преимущества и ограничения различных форм корректировки академической литературы, таких как исправления (errata), уточнения (corrigenda), отзывы (retractions). Можно выделить два основных тренда.

Согласно первому, традиционное рецензирование не всегда эффективно в предотвращении ошибок и мошенничества. Особую озабоченность в этом отношении вызывают препринты, которые не всегда полноценно рецензируются и могут содержать ошибки, обладая, при этом, механизмом обновления версий, что позволяет исправлять / маскировать² ошибки более оперативно. Постпубликационное рецензирование играет важную роль в выявлении ошибок, не обнаруженных на стадии традиционного рецензирования (Teixeira da Silva, 2022; Кочетков, 2024). Поскольку механизмы исправления литературы, такие как (errata) и уточнения (corrigenda) не всегда оправданы, отзыв и замена статей (retract and replace) получают все большую популярность. Однако использование таких механизмов часто сопряжено со сложностями, поскольку они могут быть

использованы для сокрытия мошенничества (Teixeira da Silva, 2022).

Согласно второму тренду, олицетворением которого можно считать статью Chaddah, опубликованную в *Nature* в 2014 г., не каждый случай плагиата должен обязательно приводить к ретракции статьи, поскольку научные публикации могут оставаться полезными для общества и науки, даже если часть текста была скопирована без должного цитирования. В таких случаях важнее исправление ошибок и добавление соответствующего признания авторства, чем полная ретракция. Chaddah (2014), выделяя три формы плагиата (плагиат текста, плагиат идей и плагиат результатов)³, утверждает, что плагиат текста, хотя и является этическим нарушением, не всегда оказывает значительное влияние на научные открытия или качество экспериментов. Это особенно важно в тех случаях, когда сами исследования были выполнены корректно, а результаты — надежны и полезны для научного сообщества.

Коррекция и четкое указание на плагиат текста, а не на фальсификацию данных, помогут сохранить вклад статьи в развитие науки, минимизируя ущерб для репутации ученого. В статье необходимо четко указать факт плагиата и снабдить ее ссылкой на оригинал. Такой подход может лучше предотвратить будущие случаи плагиата, сохраняя при этом научную ценность работы. Ретракция, как наказание, может оказаться чрезмерной в случаях, когда оригинальные эксперименты были проведены честно и результаты имеют значимость для научного сообщества. Плагиат же идей и результатов нарушает основополагающие принципы научного исследования и требует более жестких санкций, включая вмешательство научных институтов.

Индекс ретракций и его связь с импакт-фактором журнала

Исследование, проведенное Fang и Casadevall (2011), выявило на первый взгляд, парадоксальную связь между частотой ретракций и импакт-фактором журнала. Ученые разработали новый показатель — «индекс ретракций», который позволяет оценить частоту отзыва статей в зависимости от количества публикаций в журнале. Этот индекс рассчитывается как количество ретракций на каждую 1000 опубликованных статей. Анализ показал, что журналы с высоким импакт-фактором, такие как *Nature*, *Science*, и *New England Journal of Medicine*, де-

² В зависимости от намерений авторского коллектива.

³ (1) плагиат текста — копирование большого объема текста без надлежащего цитирования, (2) плагиат идей — более серьезное нарушение, когда исследователь присваивает себе чужие гипотезы, идеи экспериментов и выводы, которые имеют первостепенное значение для научной работы, (3) плагиат результатов — ситуация, при которой результаты эксперимента воспроизводятся, но без указания оригинального источника, что подрывает принцип признания оригинальных исследований.

монстрируют более высокие значения индекса ретракций по сравнению с журналами с низким импакт-фактором.

Указанный результат может показаться нелогичным, так как престижные журналы с высокими стандартами рецензирования должны публиковать более качественные исследования. Однако существует несколько объяснений этого явления:

- (1) Журналы с высоким импакт-фактором привлекают больше внимания как со стороны ученых, так и со стороны широкой общественности. Статьи в таких изданиях получают больше цитирований и чаще подвергаются пристальному вниманию. Это может привести к более высокой вероятности обнаружения ошибок или нарушений, таких как фальсификация данных или плагиат, что впоследствии приводит к ретракции статьи (Steen, 2011).
- (2) Публикация в высокоимпактных журналах представляет авторам значительные карьерные и финансовые преимущества, включая получение грантов, академических позиций и признания в научном сообществе. В условиях высокой конкуренции подобная практика может стимулировать некоторых авторов к недобросовестному поведению, включая фальсификацию данных или преувеличение значимости результатов исследования. Это особенно актуально в условиях, когда высокоимпактные журналы отдают предпочтение ярким и неожиданным научным результатам (Ioannidis, 2005).
- (3) Престижные журналы, помимо более строгого процесса рецензирования до публикации, также находятся под более пристальным вниманием после публикации. Исследования, которые претендуют на значимые открытия или содержат громкие результаты, чаще подвергаются независимой проверке другими учеными не только до, но и после публикации, что увеличивает вероятность выявления ошибок или нарушений. Этот феномен был также подтвержден в предыдущих исследованиях, которые показали, что новые и сенсационные результаты часто опровергаются последующими исследованиями (Trikalinos et al. 2008).

Устойчивое развитие ретрагированных статей?

Одним из ключевых вопросов, который продолжает беспокоить научное сообщество, является распространение цитирований отозванных статей, несмотря на опубликование уведомлений об их отзыве. Исследование Hamilton (2019) в области радиационной онкологии показало, что 92% цитирований отозванных статей после публикации уведомления о ретракции продолжают ссылаться на них как на легитимные источники.

Bar-Ilan & Halevi (2018) собрали данные по 995 отозванным статьям, опубликованным на платформе ScienceDirect, и проанализировали их цитируемость и количество читателей в Mendeley. Они проводили замеры четыре раза в течение четырех лет, чтобы проследить динамику постретракционной цитируемости. Исследователи обнаружили, что цитируемость отозванных статей продолжала расти даже спустя годы после их отзыва. Это говорит о том, что авторы других статей часто продолжают ссылаться на работы, даже если они уже отозваны. Аналогичное поведение наблюдалось и среди пользователей Mendeley, где количество сохранений и просмотров отозванных статей также увеличивалось. Это явление характерно для всех областей научного знания, более того, оно создает риск распространения недостоверных данных и негативного влияния на последующие исследования и практики.

Основной причиной продолжения цитирования отозванных статей является недостаточная осведомленность исследователей о ретракциях: многие исследователи пользуются устаревшими базами данных или библиотеками, не проверяя актуальность источников перед публикацией своих работ (Hsiao, & Schneider, 2021). Многие статьи остаются доступными в своих «оригинальных» версиях — до ретракции, как на личных или институциональных сайтах, так и в онлайн-репозиториях (da Silva & Bornemann-Cimenti, 2017). Подобные версии, равно как и печатные архивы, не подвергаются воздействию ретракции. Даже через несколько лет после ретракции многие отозванные статьи продолжают оставаться популярными в научной среде, что указывает на системные проблемы в распространении информации о ретракциях (Bar-Ilan & Halevi, 2018).

Проблема продолжающихся цитирований также связана с особенностями научного процесса, включая копирование ссылок из других статей (синдром «ленивого автора») (Тихонова & Кириллова, 2022) и отсутствие автоматизированных систем уведомления авторов о ретракции источников. Необходим строгий контроль со стороны рецензентов и редакторов для выявления и удаления таких ссылок на всех этапах подготовки к публикации, что требует разработки четких руководств для исследователей и редакторов по работе с отозванными статьями, что должно включать использование инструментов проверки ссылок и автоматизированных систем оповещения о ретракциях.

В этой связи важным шагом является четкая идентификация отозванных статей путем добавления водяного знака и соответствующей информации в базах данных. Это необходимо для предотвращения случайного цитирования отозванных публикаций (da Silva & Bornemann-Cimenti, 2017).

СТИГМАТИЗАЦИЯ РЕТРАКЦИИ

Необходимость отзыва опубликованной статьи, по сути, обусловлена мошенническими действиями со стороны (1) авторов, которые пытались манипулировать редакционно-издательским и исследовательским циклами в своих интересах, будь то финансовые или иные выгоды; (2) редакторов, которые намеренно игнорировали неправомерные действия; и (3) издателей, стремившихся к известности и прибыли любой ценой, включая игнорирование основных принципов издательской этики и контроля качества. Однако существует и иное измерение ретракции, находящееся в рамках другого уровня ответственности: речь идет об авторах, которые не получили достаточный объем инструкций, редакторах, которые не смогли должным образом контролировать процесс рецензирования или редакционной обработки в силу не до конца сформированных необходимых компетенций, и издателях, опубликовавшие работу, которая не прошла тщательную проверку, искренне полагая, что пройденные этапы редакционно-издательского цикла соответствуют всем необходимым требованиям (da Silva & Bornemann-Cimenti, 2017).

Второе измерение ретракции, также сопровождается отзывом опубликованной статьи, и, как и первое, ассоциируются с неудачей, что порождает стигматизацию и снижает готовность авторов исправлять допущенные ошибки (Teixeira da Silva, 2022). Более того, в условиях авторских коллективов, отдельные авторы могут стать невинными жертвами неэтичного поведения своих соавторов. И как в таком случае обосновывать их относительную «невиновность», и является ли она таковой в контексте необходимости тщательного отслеживания всех авторских ролей внутри авторского коллектива всеми его членами и коллективной ответственности за результаты исследования?

Некоторые журналы и издатели проявляют недостаточную готовность внедрять прозрачные механизмы для исправления ошибок, как преднамеренных, так и непреднамеренных, допускаемых участниками редакционно-издательского процесса. Это зачастую приводит к появлению феномена так называемых «скрытых ретракций». В соответствии с руководящими принципами Комитета по этике публикаций (COPE), уведомления о ретракциях должны быть четко идентифицируемыми, доступны всем заинтересованным сторонам и не содержать потенциально клеветнических утверждений. Однако даже издатели, являющиеся членами COPE, не всегда придерживаются этих рекомендаций (Wager, 2015). «Молчаливая» или «скрытая» ретракция представляет собой отзыв публикации из печати, о котором не сообщается публично.

В результате, такие ретракции становятся труднодоступными для обнаружения, что создает значительный риск для научного сообщества, поскольку недостоверные исследования могут оставаться в обороте и цитироваться в последующих работах, вводя в заблуждение исследователей (da Silva, 2016).

Снижение уровня стигматизации при ретрагировании статьи возможно, по мнению ряда исследователей, за счет введения фильтров относительно концептуализации уровня потенциальной «вины» авторского коллектива (Heckers et al., 2015; Barbour et al., 2017; Hosseini et al., 2018). Речь идет о переосмыслении термина «ретракция», сопровождения процесса внутреннего аудита степени скомпрометированности опубликованной статьи маркерами «правки» с разной степенью серьезности, «самоотзыв» для обозначения непреднамеренной ошибки или «отзыв и замена», для замены предыдущую версию статьи откорректированной этической ее версией⁴. Однако предложенные механизмы могут способствовать злоупотреблению ими со стороны редакторов научных журналов с целью смягчения последствий ретракций, чтобы сохранить репутацию издания, принизить степень научного мошенничества до уровня «незначительного нарушения», несправедливо предоставить возможность исправить публикацию, которая должна оставаться отозванной, или позволить издателям, извлекая финансовую выгоду из публикации некорректной работы, смягчить серьезность недостатков процесса рецензирования, используя более благозвучные и маркетингово привлекательные термины (Teixeira da Silva, 2017).

Непреложным фактом является заявление о том, что количество ретракций стремительно увеличивается, при этом часть из них является следствием неосознаваемых авторами, редакторами и издателями ошибок, а не неправомерных действий. Различить непреднамеренные ошибки и мошенничество достаточно сложно, стигма ретракций, распространяющаяся на обе ситуации усугубляет ситуацию. Для снижения стигмы ретракций необходимо четко указывать причины ретракции в соответствующих уведомлениях, создать консенсус относительно случаев, требующих ретракции или исправления, избегать сенсационного освещения в СМИ ретракций (особенно добровольных, вызванных честными ошибками), поощрять своевременное самоисправление ошибок и внедрять системы поощрений за исправление литературы. Изменение академической культуры в сторону вознаграждения за честность и прозрачность при исправлении литературы поможет снизить негативные последствия ретракций (Teixeira da Silva & Al-Khatib, 2021) и приведет к тому, что независимо от культурных

⁴ Собственно опция доработки рукописи по результатам постпубликационного рецензирования, реализуемая рядом издательских платформ позволяет в определенной мере интегрировать указанные инициативы.

различий в авторстве, все ошибки будут исправляться, будь то корректировка статьи размещением ее новой версии или отзыв статьи. С одной стороны, увеличение числа ретракций может негативно сказаться на репутации научных журналов и авторов. Однако, с другой стороны, ретракция — это демонстрация способности науки к самоочищению и исправлению ошибок, что способствует повышению доверия к результатам научных исследований.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ динамики роста числа ретракций показывает, что данное явление стало неотъемлемой частью современных научных практик. Ретракции, как инструмент корректировки научной литературы, играют важную роль в поддержании ее достоверности, однако их рост сопровождается негативными последствиями для академического сообщества, в первую очередь для авторов. Одним из ключевых результатов исследования стало подтверждение того, что стигматизация, связанная с ретракцией, оказывает значительное влияние на дальнейшую карьеру исследователей. Авторы, чьи статьи были отозваны, часто сталкиваются с падением цитируемости, трудностями при подаче заявок на гранты и снижением доверия со стороны коллег. Эти последствия зачастую одинаковы как для случаев намеренной фальсификации данных, так и для честных ошибок, что приводит к неоправданному нивелированию этих двух ситуаций (Lu et al., 2013).

Также важным результатом является восприятие политики ретракций со стороны научных журналов. Многие журналы и издатели используют терминологию, такую как «частичная ретракция» или «самостоятельная ретракция», для смягчения воздействия отзыва статьи на репутацию издания и авторов (Fanelli, 2016). Однако такие подходы могут привести к замещению ответственности за серьезные ошибки или мошенничество более мягкими и маркетингово выгодными формулировками. Данный вывод поднимает вопрос о необходимости создания более строгих и единых стандартов ретракций, которые будут применяться ко всем случаям, независимо от причины отзыва публикации.

Дискуссия также затрагивает вопросы прозрачности ретракций и важность информирования научного сообщества. Недостаточная прозрачность процесса ретракции, особенно в случае так называемых «скрытых ретракций», ставит под угрозу научную целостность и может способствовать тому, что некачественные исследования будут продолжать цитироваться (Teixeira da Silva, 2016). Существует также проблема недостаточной детализации ретракционных уведомлений. Marcus & Oransky (2014) подчеркивают, что уведомления, состоя-

щие из одной строки, не предоставляют достаточно информации для понимания причин ретракции, что оставляет место для спекуляций и подрывает открытость процесса ретракции. Разработка более детализированных стандартов для ретракционных уведомлений с четким объяснением причины отзыва статьи, будь то «честная ошибка» или намеренное мошенничество (Cagney et al., 2016) позволят совершенствовать политику ретракций и стандарты публикационной этики, чтобы гарантировать, что все участники академического процесса — от авторов до редакторов — несут ответственность за достоверность опубликованных данных.

Предложенные рекомендации по изменению культуры ретракций, направленные на поощрение авторов за своевременное исправление ошибок в опубликованных статьях, могут стать важным шагом на пути к снижению ее стигматизации. Признание честных ошибок и активное участие в исправлении научной литературы должно стать нормой в академической среде. Для оптимизации процесса ретракций важно разработать механизмы, которые будут снижать стигму и одновременно поддерживать прозрачность. Авторы, корректирующие свои ошибки, должны получать признание, а не осуждение, как это отмечают Christiansen и Flanagan (2017), утверждая, что «ошибаться — это человеческая природа, а исправлять ошибки — божественная».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема ретракций и исправления ошибок в опубликованных рукописях требует глубокого и структурированного подхода. В настоящее время система научных публикаций сталкивается с вызовами, связанными со стигматизацией ретракций и отсутствием действенных механизмов поощрения отзыва рукописей вследствие «честных ошибок». Для того чтобы исправление научных данных не воспринималось как репутационный удар, а стало естественной частью научного процесса, необходимы прозрачные и справедливые правила, которые бы поощряли авторов, редакторов и издателей к открытому признанию и исправлению ошибок. Более того, любые попытки использовать ассоциирующиеся с процессом очищения науки термины или методы для смягчения серьезности нарушений должны быть устранены, чтобы защитить целостность научного знания. Лишь открытая культура ретрагирования будет способствовать формированию ответственной науки и сможет сохранить доверие общества к исследовательскому сообществу и достоверности опубликованных научных данных.

Основным ограничением данной статьи является акцент на теоретическом анализе без предоставления эмпирических данных для поддержки предлагаемых

утверждений. В статье описаны проблемы стигматизации ретракций и недостатки в текущей системе научного рецензирования, но она не предоставляет количественных оценок распространенности этих явлений или их влияния на различные области науки. Кроме того, многие из выводов ограничены существующими данными о практике ретракций, что требует дальнейших исследований для подтверждения их актуальности и применимости.

Статья может быть полезна для редакторов научных журналов, издателей и исследователей. Освещая перспективы улучшения процессов ретракции и стимулирования прозрачности исследовательской деятельности,

материал статьи призван помочь в разработке политик по корректированию ошибок в научной литературе.

Будущие исследования должны быть направлены на эмпирическое изучение влияния стигматизации ретракций на научную карьеру, включая анализ данных о количестве саморетрагированных работ и ретракций, вызванных ошибками или мошенничеством. Интересным направлением будет разработка и тестирование механизмов, которые бы способствовали созданию культуры открытого признания ошибок. Также важно изучить способы создания более справедливых и прозрачных систем для исправления ошибок, таких как системы рейтингов для авторов, редакторов и рецензентов.

REFERENCES

- Тихонова, Е. В., & Кириллова, О. В. (2022). Культура цитирования: поведение цитирующих авторов vs доверие к результатам научных исследований. *Научный редактор и издатель*, 7(2), 166–181. <https://doi.org/10.24069/SEP-22-58>
- Tikhonova, E. V., & Kirillova, O. V. (2022). Citation culture: Citing authors behaviour vs trust in research results. *Science Editor and Publisher*, 7(2), 166–181. <https://doi.org/10.24069/SEP-22-58> (In Russ.)
- Тихонова, Е. В., Косычева, М. А., & Мекеко, Н. М. (2023). Академическая культура вуза: формирование продуктивной среды для развития и профессионализации: монография. РГБУ.
- Tikhonova, E. V., Kosycheva, M. A., & Mekeko, N. M. (2023). *Academic culture of the university: Formation of a productive environment for development and professionalization*. RSBU.
- Almeida, R. M. V., de Albuquerque Rocha, K., Catelani, F., Fontes-Pereira, A. J., & Vasconcelos, S. M. (2015). Plagiarism allegations account for most retractions in major Latin American/Caribbean databases. *Science and Engineering Ethics*, 22, 1447–1456. <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9694-0>
- Bar-Ilan, J., & Halevi, G. (2018). Temporal characteristics of retracted articles. *Scientometrics*, 116, 1771–1783. <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2802-y>
- Cagney, H., Horton, R., James, A., Sabine Kleinert, Nyakoojo, Z., Pryce, L., Grainger, E., Stanley, D., & Wang, H. (2016). Retraction and republication — a new tool for correcting the scientific record. *European Science Editing*, 42(1), 3–7.
- Chaddah, P. (2014). Not all plagiarism requires a retraction. *Nature*, 511, 127. <https://doi.org/10.1038/511127a>
- Christiansen, S., & Flanagan, A. (2017). Correcting the medical literature: "To err is human, to correct divine". *JAMA*, 318(9), 804–805. <https://doi.org/10.1001/jama.2017.11833>
- Fanelli, D. (2016). Set up a 'self-retraction' system for honest errors. *Nature*, 531(7595), 415.
- da Silva, J. A. T., & Bornemann-Cimenti, H. (2017). Why do some retracted papers continue to be cited? *Scientometrics*, 110(1), 365–370.
- Debnath, J., Debnath, D., & Patrikar, S. (2023). Vexatious and euphemistic affairs in retractions of scientific publications: A pilot study. *Medical Journal, Armed Forces India*. <https://doi.org/10.1016/j.mjafi.2023.07.005>
- Fang, F. C., & Casadevall, A. (2011). Retracted science and the retraction index. *Infection and Immunity*, 79(10), 3855–3859. <https://doi.org/10.1128/IAI.05661-11>
- Fang, F. C., Steen, R. G., & Casadevall, A. (2012). Misconduct accounts for the majority of retracted scientific publications. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(42), 17028–17033. <https://doi.org/10.1073/pnas.1212247109>
- Hamilton, D. G. (2019). Continued citation of retracted radiation oncology literature—Do we have a problem? *International Journal of Radiation OncologyBiologyPhysics*, 103(5), 1036–1042. <https://doi.org/10.1016/j.ijrobp.2018.11.014>
- Hsiao, T.-K., & Schneider, J. (2021). Continued use of retracted papers: Temporal trends in citations and (lack of) awareness of retractions shown in citation contexts in biomedicine. *Quantitative Science Studies*, 1–26. https://doi.org/10.1162/qss_a_00155
- Ioannidis, J. P. A. (2005). Why most published research findings are false. *PLoS Medicine*, 2(8), e124. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0020124>
- Lu, S. F., Jin, G. Z., Uzzi, B., & Jones, B. (2013). The retraction penalty: Evidence from the Web of Science. *Scientific Reports*, 3, 3146.
- Marcus, A., & Oransky, I. (2014). What studies of retractions tell us. *Journal of Microbiology and Biology Education*, 15(2), 151–154.

- Kochetkov, D. (2024, September 8). Post-publication review: Evolution of the scientific publishing workflow [Постпубликационное рецензирование: развитие научно-издательского процесса]. <https://doi.org/10.31235/osf.io/zsqrh>
- Koo, M., & Lin, S.-C. (2024). Retracted articles in scientific literature: A bibliometric analysis from 2003 to 2022 using the Web of Science. *Heliyon*, e38620. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38620>
- Steen, R. G. (2011). Retractions in the scientific literature: Is the incidence of research fraud increasing? *Journal of Medical Ethics*, 37(4), 249–253. <https://doi.org/10.1136/jme.2010.040923>
- Teixeira da Silva, J. A. (2022). A synthesis of the formats for correcting erroneous and fraudulent academic literature, and associated challenges. *Journal for General Philosophy of Science = Zeitschrift für Allgemeine Wissenschaftstheorie*, 53(4), 583–599. <https://doi.org/10.1007/s10838-022-09607-4>
- Teixeira da Silva, J. A. (2016). Silent or stealth retractions, the dangerous voices of the unknown, deleted literature. *Publishing Research Quarterly*, 32, 44–53. <https://doi.org/10.1007/s12109-015-9439-y>
- Teixeira da Silva, J. A., & Al-Khatib, A. (2021). Ending the retraction stigma: Encouraging the reporting of errors in the biomedical record. *Research Ethics*, 17(2), 251–259. <https://doi.org/10.1177/1747016118802970>
- Teixeira da Silva, J. A., & Dobránszki, J. (2017). Notices and policies for retractions, expressions of concern, errata and corrigenda: Their importance, content, and context. *Science and Engineering Ethics*, 23, 521–554. <https://doi.org/10.1007/s11948-016-9769-y>
- Trikalinos, N. A., Evangelou, E., & Ioannidis, J. P. (2008). Falsified papers in high-impact journals were slow to retract and indistinguishable from nonfraudulent papers. *Journal of Clinical Epidemiology*, 61(5), 464–470. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2007.11.019>
- Wager, L. (2015). Why are retractions so difficult? *Science Editor*, 2(1), 32–34. <https://doi.org/10.6087/kcse.34>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s212>

Загрязнения окружающей среды бытовыми и промышленными отходами в Центральном федеральном округе

С.А. Михеева, М.В. Степанова

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Корреспонденция:

Степанова Марина Вячеславовна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: stepanovamv@mgupp.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 27.04.2024

Поступила после

рецензирования: 06.08.2024

Принята: 12.08.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Отходы производства и потребления - вещества или предметы, которые образованы в процессе производства, выполнения работ, оказания услуг или в процессе потребления, которые удаляются, предназначены для удаления или подлежат удалению.

Цель. Целью данного исследования является заключение анализа проблемы загрязнения окружающей среды, вызванной бытовыми и промышленными отходами для выявления основных источников загрязнения в Центральном федеральном округе.

Материалы и методы. В работе выполнен анализ статистических данных Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Росстата, систематизированные по федеральным округам и субъектам Российской Федерации, произведен расчет абсолютного и относительного ежегодного прироста объема отходов.

Результаты. В РФ образование отходов в среднем ежегодно увеличивается на 6,0 %, за 2003–2022 годы средний годовой прирост фиксирования массы отходов, включающую в себя производственные и промышленные отходы и твердые коммунальные отходы, составляет 64,038 миллионов тонн в год. Обработка твердых коммунальных отходов (ТКО) в Российской Федерации в 2022 году составила 22,4 млн тонн. Центральный федеральный округ выделяется как лидер по обработке 12 млн тонн ТКО, с долей в 53 % от общероссийского объема. Москва и Московская область занимают ключевое положение в структуре Центрального федерального округа по обработке отходов, составляя 48,9 млн тонн. Это представляет собой значительную долю в общем объеме утилизированных отходов, а именно 42 %. Общий объем обезвреженных ТКО составил 1 млн тонн, что составляет 2 % от образованных отходов, утилизировано 3 млн тонн (6,6 % от общей массы образованных ТКО).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

отходы производственные, твердые коммунальные отходы, продовольственные потери, пищевые отходы, захоронение, рециклинг



Для цитирования: Михеева, С. А., & Степанова, М. В. (2024). Загрязнения окружающей среды бытовыми и промышленными отходами в Центральном федеральном округе. *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 16–26. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s212>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s212>

Environmental Pollution by Household and Industrial Waste in the Central Federal District

Sofia A. Mikheeva, Marina V. Stepanova

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Marina V. Stepanova,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway,
Moscow, 125080, Russia
E-mail: stepanovamv@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 27.04.2024

Received in revised form: 06.08.2024

Accepted: 16.08.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction Production and consumption waste - substances or objects that are formed in the process of production, performance of work, provision of services or in the process of consumption, which are removed, intended for removal or are subject to removal

Purpose. The purpose of this study is to conclude the analysis of the problem of environmental pollution caused by household and industrial waste to identify the main sources of pollution in the Central Federal District

Materials and Methods. The paper analyzes statistical data from the Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation and Rosstat, systematized by federal districts and subjects of the Russian Federation, and calculates the absolute and relative annual increase in waste volume.

Results. In the Russian Federation, waste generation increases by 6.0 % on average annually; for 2003–2022, the average annual increase in the recorded waste mass, including industrial and production waste and municipal solid waste, was 64.038 million tons per year. Municipal solid waste (MSW) processing in the Russian Federation in 2022 amounted to 22.4 million tons. The Central Federal District stands out as the leader in processing 12 million tons of MSW, with a share of 53 % of the total Russian volume. Moscow and the Moscow Region occupy a key position in the structure of the Central Federal District in waste processing, amounting to 48.9 million tons. This represents a significant share in the total volume of recycled waste, namely 42 %. The total volume of neutralized MSW amounted to 1 million tons, which is 2 % of the generated waste, 3 million tons were recycled (6.6 % of the total mass of generated MSW).

Conclusion. The obtained statistical data allow us to estimate the volume of generated industrial, production waste and municipal solid waste in the Central Federal District and to assess the level of their processing. The presented data also allow us to give the following recommendations on the direction of development of the waste management sphere in the Central Federal District: maximum use of raw materials and supplies; prevention and reduction of waste generation; processing, recycling, neutralization, placement of waste in accordance with the requirements of legislation in the field of environmental protection and ensuring the sanitary and epidemiological well-being of the population.

KEYWORDS

industrial waste, municipal solid waste, food losses, food waste, burial, recycling



To cite: Mikheeva, S.A., & Stepanova, M.V. (2024). Environmental pollution by household and industrial waste in the Central Federal District. *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 16–26. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s212>

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире проблема загрязнения окружающей среды становится все более острой и актуальной. Одним из основных источников этого загрязнения являются бытовые и промышленные отходы, образование которых ежегодно растет (Адырхаева, 2019). Растущая потребительская активность и индустриализация приводят к увеличению объемов отходов, что влечет за собой серьезные последствия для природы и здоровья населения. Экологическое и санитарно-эпидемиологическое благополучие страны — это важный аспект национальной безопасности в области охраны здоровья населения (Алешкова, 2022). Согласно анализу состава твердых коммунальных отходов, выявлено, что одним из основных компонентов являются пищевые отходы, которые в среднем составляют от 41 % до 47 % (Абрамов, 2023). Высокий процент доли общего объема твердых коммунальных отходов имеет высокий потенциал для возможностей переработки и утилизации с целью уменьшения негативного воздействия на окружающую среду и оптимизации управления отходами (Белинская и др., 2023).

Большую часть отходов, образованных в России, составляют производственные отходы, которые образуются на различных промышленных предприятиях, включающих ресурсодобывающие комплексы, нефтеперерабатывающую промышленность и другие производственные комплексы (Волынкина, 2017). К производственным отходам также относятся отходы, которые образуются на сельскохозяйственных предприятиях и отходы пищевых производств, на которых, по данным, индекс потерь пищевой продукции в среднем составляет 14 % в год¹. Продовольственные потери и пищевые отходы наносят ущерб окружающей среде не только из-за неэффективного использования ресурсов при производстве продуктов, но и из-за негативных экологических последствий, вызванных их захоронением на свалках (Ким и др., 2020).

В контексте России вопрос обращения с производственными и коммунальными отходами в настоящий момент времени является одним из актуальных. Увеличивающийся объем образующихся отходов и ограниченность возможностей для их переработки свойственны большинству субъектов Российской Федерации. Проблема обращения с твердыми коммунальными отходами в стране становится все более насущной (Соколова и др., 2019).

Современные технологии переработки и утилизации мусора играют важную роль в смягчении проблем загрязнения окружающей среды отходами (Капитонов и др., 2023). К современным методам переработки органических пищевых отходов относятся компостирование (разложения пищевых отходов под воздействием микроорганизмов) и переработка в биомассу (Петросянц, 2023). Однако, несмотря на прогресс в области устойчивого развития, данные методы сортировки и переработки отходов недостаточно распространены даже в крупных городах (Прокопенков, 2019).

Важным аспектом является также повышение осведомленности общества о проблеме отходов, сокращению пищевых отходов и формирование экологической культуры у населения для перехода к устойчивым моделям производства и потребления (Малкова и др., 2023).

Цель данного исследования состоит в изучении проблемы загрязнения окружающей среды бытовыми и промышленными отходами и выявлении основных источников загрязнения Центрального федерального округа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В работе выполнен анализ статистических данных Министерства природных ресурсов и экологии РФ и Росстата, систематизированные по федеральным округам и субъектам Российской Федерации^{2,3}.

При помощи методов статистической обработки данных, были рассчитаны средние арифметические величины (m), среднеквадратичное отклонение (δ). В ходе комплексного экологического исследования были рассчитаны:

абсолютный ежегодный прирост объема отходов за определенный период, который определяют по формуле 1:

$$A = (V_1 - V_0)/t, \quad (1)$$

где A — абсолютный ежегодный прирост объема отходов за определенный период (млн т); V_0 — начальный объем отходов (млн т); V_1 — объем отходов в следующем году; t — время.

Относительный прирост вычисляли по формуле (2):

$$K = \left(\frac{V_1 - V_0}{V_0} \right) \cdot 100 \%, \quad (2)$$

¹ ФАО. 2019. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства. Курс на сокращение потерь и порчи продовольствия.

² (Государственный доклад. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации, 2022)

³ (Росприроднадзор, 2022)

где K — относительный ежегодный прирост объема отходов за определенный период (%); V_0 — начальный объем отходов (млн т); V_1 — объем отходов в следующем году.

Базы данных были сформированы в программах «Microsoft Office Excel» 2021, в среде Windows 10.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В 2022 году на территории РФ был установлено значительное увеличение объема образования отходов производства и потребления, которое составило 9017,3 миллионов тонн (Рисунок. 1). Этот показатель превысил уровень 2021 года, который составлял 8448,6 млн т, на 6,7 %, что свидетельствует о заметном увеличении количества образующихся отходов.

В ходе анализа диаграммы и линии тренда, основанных на уравнении $y = 312,19x + 1853,1$, можно сделать вывод, что наблюдается тенденция роста отходов с положительным коэффициентом 312,19. Данное уравнение может быть применено для прогнозирования динамики увеличения объема отходов в течение предстоящих периодов времени.

На основании данных Таблицы 1 абсолютного и относительного прироста отходов в Российской Федерации можно установить, что образование отходов в среднем увеличивается на 5,98 % ежегодно (Рисунок 1). Средний годовой прирост за 19 лет фиксирования массы отходов, включающую в себя производственные и промышленные отходы и твердые коммунальные отходы, в России составляет 64,038 миллионов тонн в год. Относительный прирост массы отходов за 19-ти летний период составляет 245,03 %, который равен 337,04 миллио-

Таблица 1
Абсолютное и относительное увеличение отходов в России с 2003 по 2022

Год	Тонн	Абсолютный прирост, млн т.	Относительный прирост, %
2003	2613,5	—	—
2004	2644,3	30,8	1,2
2005	3035,5	391,2	12,9
2006	3519,4	483,9	13,7
2007	3899,3	379,9	9,7
2008	3876,9	-22,4	-0,6
2009	3505	-371,9	-10,6
2010	3734,7	229,7	6,2
2011	4303,3	568,6	13,2
2012	5007,9	704,6	14,1
2013	5152,8	144,9	2,8
2014	5168,3	15,5	0,3
2015	5060,2	-108,1	-2,1
2016	5441,3	381,1	7,0
2017	6220,6	779,3	12,5
2018	7266,1	1045,5	14,4
2019	7750,9	484,8	6,3
2020	6955,7	-795,2	-11,4
2021	8448,6	1492,9	17,7
2022	9017,3	568,7	6,3

Рисунок 1
Количество образованных отходов в РФ в период с 2003 по 2022, млн т.

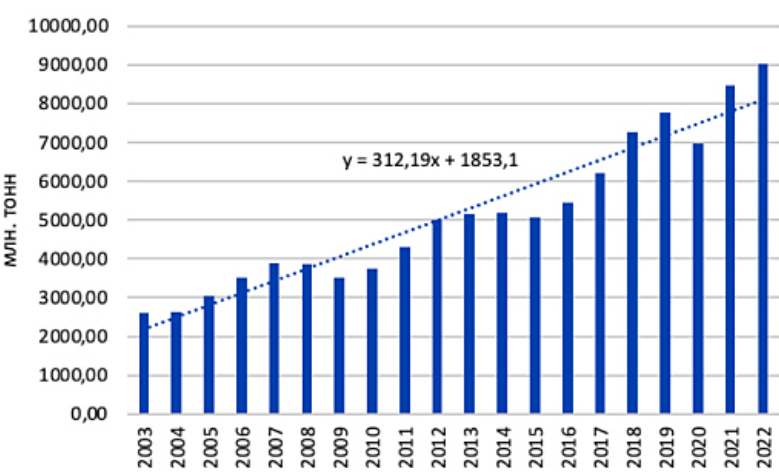
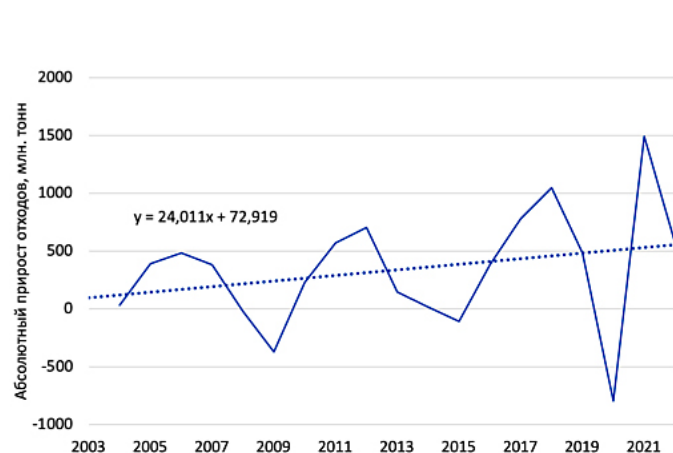


Рисунок 2

Абсолютный ежегодный прирост объема отходов. млн т.



нам тонн отходов. Скорость роста образования отходов на территории Российской Федерации к промежуточной величине также рассчитывается и имеет значение 110,1 % с 2003 по 2022 года.

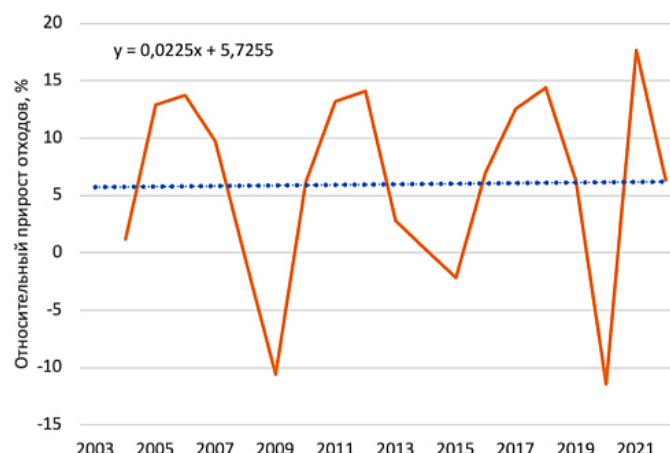
Максимальный прирост количества образованных отходов на 1492,9 млнт или 17,7 % отмечен в 2021 году сразу после максимального снижения в 2020 году на 795,2 млн т или 11,4 % во время пандемии. При оценке графиков абсолютного прироста отходов (Рисунок 2) и относительного прироста отходов (Рисунок 3), можно увидеть, что прирост представляет собой неравномерную периодичность с циклом, равному 6 годам. Линия тренда на обоих графиках возрастает, что свидетельствует о ежегодном приросте массы отходов несмотря на меры по сокращению их образования.

Ежегодный рост промышленных и коммунальных отходов связан с ростом уровня жизни и доходов населения. Также возрастает потребительский спрос, что приводит к увеличению объема потребляемых товаров и услуг и, соответственно, генерации большего количества отходов, что совпадает с результатами исследования в России (Мазин, 2019) и за рубежом (Blagoeva et al, 2023). Кроме того, увеличение объемов производства, направленного на удовлетворение растущего спроса, сопровождается использованием большего количества сырья, энергии и упаковочных материалов, что также способствует увеличению общего объема отходов (Blagoeva et al, 2023).

Оценивая объем отходов, сформированных в Центральном федеральном округе за 2022 год, отмечается, что его доля составляет (267,7 млн т.) 3 % от общего объема отходов в Российской Федерации. Несмотря на то, что население Центрального федерального округа

Рисунок 3

Относительный ежегодный прирост объема отходов, %



достигает 40 240 256 человек, что составляет 27,3 % населения страны⁴. На невысокий объем отходов в ЦФО, является отсутствие масштабных промышленных комплексов, в отличие от других федеральных округов, где промышленные предприятия могут значительно влиять на формирование отходов (Тагаева и др., 2018)

Снижению негативного воздействия на окружающую среду способствует процесс утилизации отходов путем преобразования их в более безопасные материалы или энергию (Semenova, 2021).

В Российской Федерации процесс утилизации отходов продолжает расти с каждым годом, отражая стремление к сокращению негативного воздействия на окружающую среду и эффективному использованию ресурсов. Например, в 2022 году было обработано и обезврежено общее количество отходов в объеме 4125,2 миллионов тонн, что составляет 45,7 % от общей массы образовавшихся отходов. Этот показатель увеличился на 4,8 % по сравнению с предыдущим 2021 годом (Рисунок 4).

В Центральном федеральном округе, было утилизировано 116,4 млн т. за год, из которых 23,4 млн т. было отправлено на переработку для повторного использования, что составляет 17 % (Рисунок 5).

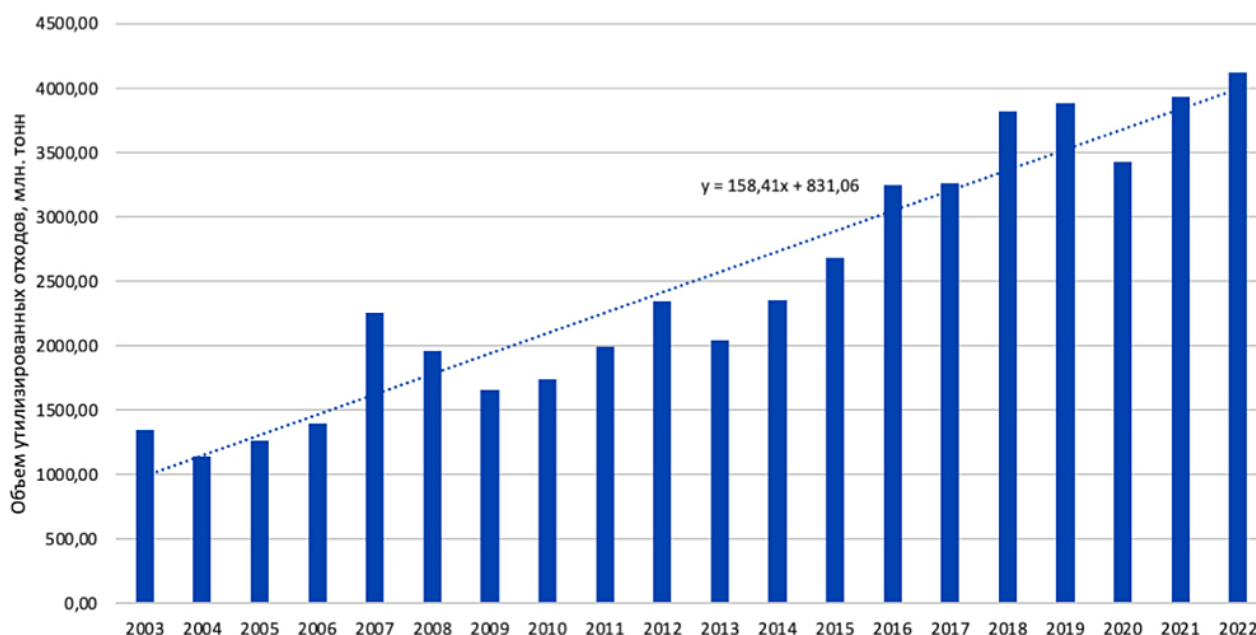
Москва и Московская область занимают ключевое положение в структуре Центрального федерального округа по обработке отходов, составляя 48,9 млн тонн. Это представляет собой значительный долю в общем объеме утилизированных отходов, а именно 42 %.

Необходимо подчеркнуть, что в Москве и Московской области с каждым годом наблюдается рост развития

⁴ (Центральный федеральный округ, Geoadm, 2024) <https://geoadm.com/tsfo.html>.

Рисунок 4

Объем утилизированных отходов в РФ в период с 2003 до 2022, млн т.



в сфере переработки. Так, в 2022 году рекультивируемые отходы общей массой 4,9 млн т. составили 21 % от всей массы утилизированных отходов в Центральном федеральном округе (Рисунок 5).

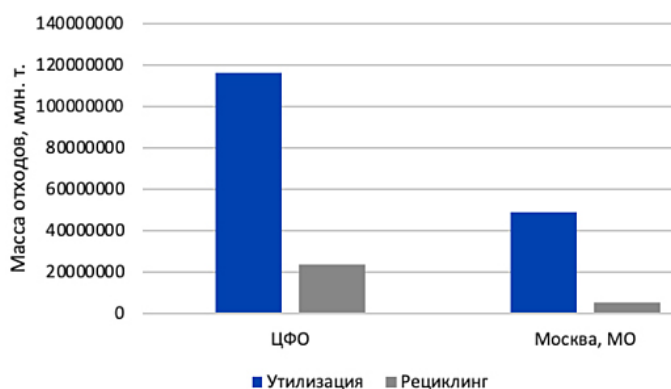
Данный сектор, при наличии заинтересованного подхода, предоставляет широкие возможности для эффективного производства (Mandal et al, 2023). Вопрос переработки отходов производства является наиболее актуальным в условиях экономического спада в «сырьевой модели», при отсутствии возможности обеспечения стабильного государственного бюджета без дефицита

основными отраслями экономики, ранее являющимися источником высоких доходов.

Дополнительно, следует отметить, что проблематика сбора вторичного сырья и последующей его транспортировки для процессов переработки активно приобретает популярность в городской среде. Этот тренд является отражением повышенного интереса и готовности городского населения к участию в устойчивых экологических практиках, что способствует широкому распространению и практическому внедрению методов рециклинга (Примак, 2022).

Рисунок 5

Объем утилизированных и подлежащих переработке отходов в ЦФО и Москве и Московской области, млн т.



В 2022 году на территории России образовалось 45,8 млн т твердых коммунальных отходов (ТКО), что на 5,2 % ниже уровня 2021 года (48,3 млн тонн). Максимальный объем образования ТКО (15,3 млн тонн) зафиксирован в Центральном федеральном округе (ЦФО), где в 2022 году было сформировано 33,5 % от общероссийского объема ТКО (Рисунок 6), что связано с большей численностью населения по сравнению с другими федеральными округами. Масса ТКО, образованных в Москве и Московской области за 2022 год составила 9,1 млн тонн, что составляет 37 % от общей массы округа, равная 15,3 млн тонн. Высокий уровень потребления в Москве и Московской области поддерживается развитой экономикой региона и широким спектром предложений на рынке товаров и услуг. Следовательно, образование большого объема отходов отражает активную хозяйственную деятельность и потребительский спрос. Вместе с тем, развитая городская инфраструктура спо-

способствует удобному доступу к товарам и услугам, стимулирует потребление и, как результат, формирование отходов (Makarenko et al, 2023). Эти факторы делают столичный регион значимым в контексте образования и управления твердыми коммунальными отходами.

Обработка твердых коммунальных отходов (ТКО) в Российской Федерации в 2022 году составила общее количество 22,4 млн тонн. Центральный федеральный округ (ЦФО) выделяется как лидер по обработке ТКО 12 млн тонн, с долей в 53 % от общероссийского объема (Рисунок 6). Это объясняется наибольшей численностью населения в этом регионе по сравнению с другими федеральными округами.

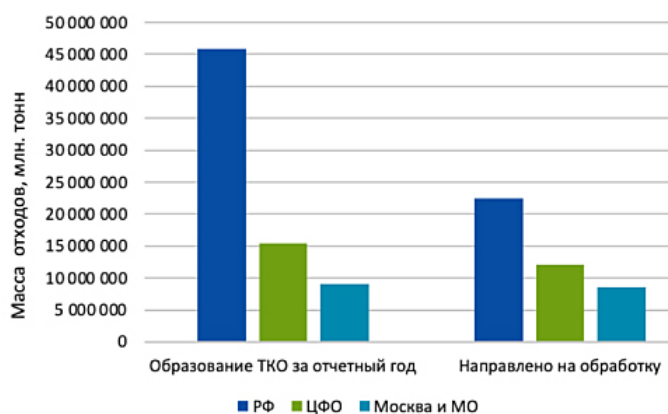
Обработка твердых коммунальных отходов играет ключевую роль в устойчивом и экологически ответственном управлении отходами. Эффективные методы обработки играют важную роль в минимизации негативного воздействия на окружающую среду. ЦФО успешно реализует программы по сортировке, переработке и утилизации ТКО, способствуя сокращению объемов обрабатываемых отходов (Капитонов и др., 2023).

Обезвреживание и утилизация твердых коммунальных отходов (ТКО) являются важными процессами в сфере управления отходами (Рисунок 7). Общий объем обезвреженных ТКО составил 1 млн тонн, что составляет 2 % от образованных отходов. В то время как утилизировано 3 млн тонн, что представляет 6,6 % от общей массы образованных ТКО. Эти цифры подчеркивают важность поиска эффективных методов обработки и утилизации отходов для снижения негативного воздействия на окружающую среду и обеспечения устойчивого развития (Сергиенко и др., 2023).

Из представленных данных видно, что общее количество обезвреженных твердых коммунальных отходов

Рисунок 6

Масса, образованных твердых коммунальных отходов и их обработки в РФ, ЦФО, Москве и Московской области, млн т.



в Центральном федеральном округе составило 1 млн тонн. При этом в Москве и Московской области этот показатель составил 961 тыс. тонн, что составляет 90 % от общей массы (Рисунок 7). Соответственно Москва и Московская область более активно внедряют методы обезвреживания ТКО по сравнению с другими регионами округа. В столичном регионе эффективнее реализованы технологии обработки отходов или предприняты дополнительные усилия для сокращения объемов их обезвреживания (Соломин, 2020). В сфере утилизации отходов в Москве и Московской области на утилизацию было отправлено 2,02 млн тонн отходов, что составляет 93 % (Рисунок 7) отходов от общей массы в Центральном федеральном (2,17 млн тонн).

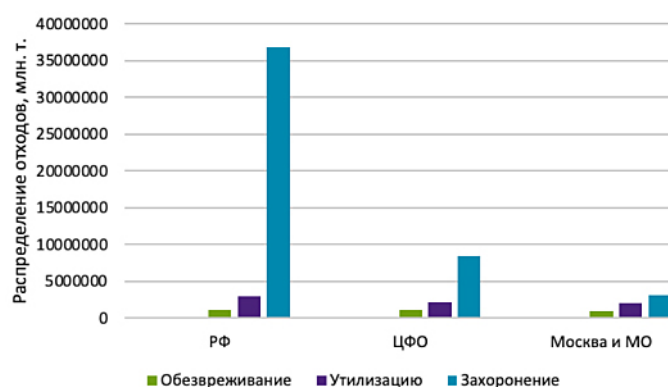
Захоронение твердых коммунальных отходов (ТКО) в 2022 году в Российской Федерации составило общую массу 36,8 млн тонн, при этом Центральный федеральный округ (ЦФО) превышает объем других регионов, отправив на утилизацию 8,3 млн тонн или 22,8 % от общего объема захороненных ТКО. Этот показатель подчеркивает важность эффективного управления и обращения с отходами в данном регионе (Осипов и др., 2023).

Процесс захоронения ТКО представляет собой существенный аспект системы обращения с отходами, который требует внимательного внедрения современных технологий и стратегий управления для минимизации негативного воздействия на окружающую среду (Semenova, 2021). В Центральном федеральном округе, с его значительной численностью населения и, следовательно, высоким уровнем образования отходов, эффективные методы захоронения становятся важной составляющей устойчивого подхода к обработке ТКО (Shilkina, 2020).

Все полигоны для захоронения отходов жителей Москвы и Московской области оборудованы исключительно в Московской области. К самым крупным

Рисунок 7

Распределение массы отходов по направлениям обработки: захоронение, утилизация и рециклинг, млн т



относятся полигоны: «Тимохово», «Воскресенск», «Солнечногорск» и «Наро-Фоминск», «Ядрово», «Сергиев Посад», «Лесная», «Храброво», «Воловичи» и «Кашира» (Рисунок 8).

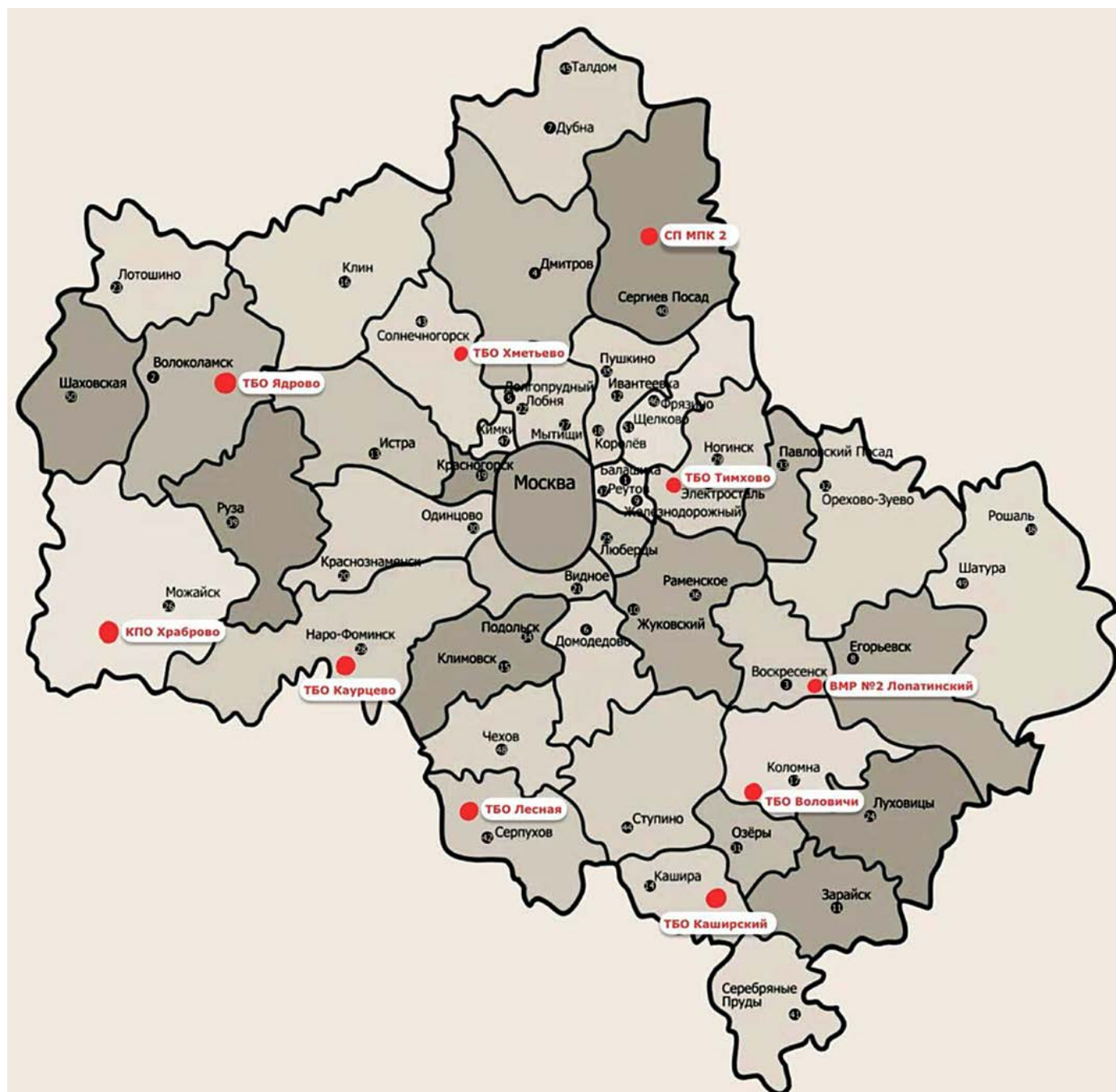
В настоящее время развёртывание рекультивируемых полигонов в России представляется одним из наиболее перспективных и экономически выгодных методов

утилизации отходов (Starodubets, 2022). Эта стратегия не только способствует предотвращению возникновения и распространения нелегальных свалок, но также обеспечивает эффективный механизм управления отходами в стране.

Управление отходами является ключевым аспектом современного общества, требующим серьезного внима-

Рисунок 8

Расположение наибольших полигонов в Московской области⁵



⁵ (Карта Московской области с городами и поселками на русском языке, 2024) <https://avrussia.ru/karty/k007373>

ния и глобальных усилий. Наше общество сталкивается с растущим объемом отходов, что представляет угрозу для окружающей среды, здоровья человека и устойчивого развития (Zhang et al, 2022). Подход к управлению отходами должен стать частью общей стратегии экономического роста и инноваций. Интеграция современных технологий, поощрение переработки и повторного использования материалов становятся неотъемлемой частью этой стратегии (Молчалова, 2020).

Каждый гражданин, предприятие, город и страна несут ответственность за свою роль в управлении отходами. Восприятие отходов как ресурса, а не просто как проблемы, способствует созданию здорового и устойчивого общества (Tripathi et al, 2022). Эффективное управление отходами также является проявлением гражданской ответственности и глобального гражданства. Продуманные стратегии по управлению отходами могут способствовать созданию инклюзивного общества, где каждый имеет доступ к чистой среде и заботится о ней. Решение проблемы отходов требует сотрудничества на всех уровнях — от индивида до международного сообщества (Мащенко и др., 2022).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Российской Федерации образование отходов в среднем ежегодно увеличивается на 6,0 %. Средний годовой прирост за 2003-2022 годы фиксирования массы отходов, включающую в себя производственные и промышленные отходы и твердые коммунальные отходы, в России составляет 64,038 миллионов тонн в год. Обработка твердых коммунальных отходов в Российской Федерации в 2022 году составила общее количество 22,4 млн тонн. Центральный федеральный округ выделяется как лидер по обработке ТКО 12 млн тонн, с долей в 53 % от общероссийского объема. Москва и Московская область занимают ключевое положение в структуре Центрального федерального округа по обработке отходов, составляя 48,9 млн тонн. Это представляет собой значительный долю в общем объеме утилизированных отходов, а именно 42 %. Общий объем обезвреженных ТКО составил 1 млн тонн, что составляет 2 % от образо-

ванных отходов, утилизировано 3 млн тонн (6,6 % от общей массы образованных ТКО).

Полученные статистические данные позволяют оценить объем образованных производственных, промышленных отходов и твердых коммунальных отходов в ЦФО и оценить уровень их обработки. Представленные данные также позволяют дать следующие рекомендации по направлению развития сферы обращения с отходами в ЦФО: максимальное использование исходных сырья и материалов; предотвращение и сокращение образования отходов; обработка, утилизация, обезвреживание, размещение отходов соответствии с требованиями законодательства в области охраны окружающей среды и обеспечения санитарно-эпидемиологического благополучия населения. Для этого необходимо формирование комплексной системы обращения с отходами на федеральном, региональном и местном уровнях, основанной на иерархии приоритетов обращения с отходами; оптимизация системы управления, регулирования и обеспечения эффективности функционирования создаваемой инновационной отраслевой инфраструктуры по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов; создание условий для привлечения инвестиций в отрасль промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов; повышение ресурсного потенциала, уровня извлечения ценных компонентов из отходов; увеличение в общем товарообороте доли продукции, произведенной с применением вторичного сырья, полученного в процессе обработки и утилизации отходов, снижение ее себестоимости, повышение технико-эксплуатационных характеристик, безопасности, качества и экологичности для формирования стабильного спроса, обеспечения конкурентоспособности.

ВКЛАД АВТОРОВ

Михеева С.А.: проведение исследования, формальный анализ, верификация данных

Степанова М. С.: концептуализация, методология, администрирование данных

ЛИТЕРАТУРА

Абрамов, В. Н. (2023). Результаты исследований морфологического состава твердых коммунальных отходов жилого фонда в южных регионах России. *Интернет-журнал «Отходы и ресурсы»*, 10(4). <https://doi.org/10.15862/19INOR423>

Abramov, V. N. (2023). Results of research on the morphological composition of solid municipal waste in residential buildings in southern regions of Russia. *Russian*

Journal of Resources, Conservation and Recycling, 10(4). <https://doi.org/10.15862/19INOR423> (In Russ.)

Адырхаева, Э. А. (2019). Динамика образования и использования отходов в РФ. *Форум молодых ученых*, (2 (30)), 74–79.

Adyrkhaeva, E. A. (2019). Dynamics of formation and use of wastes in the Russian Federation. *Forum of Young Scientists*, (2 (30)), 74–79. (In Russ.)

- Алешкова, И. А. (2022). Экологическое благополучие человека как конституционно-правовая категория. *Аграрное и земельное право*, (11(215)), 60–64. http://doi.org/10.47643/1815-1329-2022_11_60
- Aleshkova, I. A. (2022). Human environmental well-being as a constitutional and legal category. *Agrarian and Land Law*, (11(215)), 60–64. http://doi.org/10.47643/1815-1329-2022_11_60 (In Russ.)
- Белинская, И. В., Карандашева, И. В., & Макаренко Е. А. (2023). Построение концепции переработки органических отходов. *Вестник БГУ. Экономика и менеджмент*, (2), 48–56. <http://doi.org/10.18101/2304-4446-2023-2-48-56>
- Belinskaya, I. V., Karandashova, I. V., & Makarenko, E. A. (2023). Conceptualization of organic waste recycling. *BSU bulletin. Economy and Management*, (2), 48–56. <http://doi.org/10.18101/2304-4446-2023-2-48-56> (In Russ.)
- Волынкина Е. П. (2017). Анализ состояния и проблем переработки техногенных отходов в России. *Вестник Сибирского государственного индустриального университета*, (2 (20)), 43–49.
- Volynkina, E. P. (2017). Analysis of the problems of industrial wastes processing in Russia. *Bulletin of the Siberian State Industrial University*, (2 (20)), 43–49. (In Russ.)
- Капитонов, И. А., Пармененков, К. Н., & Бронская, Ю. К. (2023). Международный опыт внедрения рациональных методов утилизации и обезвреживания твердых бытовых отходов: перспективы ускорения экономического роста. *Инновации и инвестиции*, (1), 33–41. <http://doi.org/10.24412/2307-180X-2023-1-33-41>
- Kapitonov, I. A., Parmenenkov, K. N., & Bronskaya, Yu. K. (2023). International experience in the introduction of rational methods of solid waste disposal and disposal: prospects for accelerating economic growth. *Innovations and Investments*, (1), 33–41. <http://doi.org/10.24412/2307-180X-2023-1-33-41> (In Russ.)
- Капитонов, И. А., Пармененков, К. Н., & Бронская, Ю. К. (2023). Актуальные методы утилизации бытовых отходов. *Инновации и инвестиции*, (1), 246–253. <http://doi.org/10.24412/2307-180X-2023-1-246-253>
- Kapitonov, I. A., Parmenenkov, K. N., & Bronskaya, Yu. K. (2023). Current methods of household waste disposal. *Innovations and Investments*, (1), 246–253. <http://doi.org/10.24412/2307-180X-2023-1-246-253> (In Russ.)
- Ким, В. В., Галактионова, Е. А., & Антоневиц, К. В. (2020). Продовольственные потери и пищевые отходы на потребительском рынке РФ. *International agricultural journal*, (4), 1–20. <http://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10191>
- Kim, V. V., Galaktionova, E. A., & Antonevich, K. V. (2020). Food losses and food waste in the consumer market of the Russian Federation. *International agricultural journal*, (4), 1–20. <http://doi.org/10.24411/2588-0209-2020-10191> (In Russ.)
- Мазин, В. В. (2019). Корреляция темпа экономического роста и количества образования отходов. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*, (9–1), 6–9. <http://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11551>
- Mazin, V. V. (2019). Economic growth correlation and quantities of waste formation. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*, (9–1), 6–9. <http://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11551>
- Малкова, Е. П., & Хачатуров-Тавризян, А. Е. (2023). Совершенствование системы управления отходами потребления для обеспечения устойчивого развития. *Успехи в химии и химической технологии*, 37(3 (265)), 50–52.
- Malkova, E. P., & Khachaturov-Tavrizyan, A. E. (2023). Improving the waste management system of consumption to ensure sustainable development. *Advances in Chemistry and Chemical Engineering*, 37(3 (265)), 50–52.
- Машченко, Ю. А., & Кургузкина, О. В. (2022). Создание устойчивой системы обращения с твердыми коммунальными отходами: проблемы и перспективы. *Государственное и муниципальное управление. Ученые записки*, (2), 107–113. <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2022-1-2-107-113>
- Mashchenko, Yu. A., & Kurguzkina, O. V. (2022). Building a sustainable management system of the household waste: problems and prospects. *State and Municipal Management. Scholar Notes*, (2), 107–113. <https://doi.org/10.22394/2079-1690-2022-1-2-107-113> (In Russ.)
- Мочалова, Л. А. (2020). Циркулярная экономика в контексте реализации концепции устойчивого развития. *Journal of New Economy*, 21(4), 5–27. <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2020-21-4-1>
- Mochalova, L. A. (2020). Circular economy in the context of implementing the concept of sustainable development. *Journal of New Economy*, 21(4), 5–27. <https://doi.org/10.29141/2658-5081-2020-21-4-1> (In Russ.)
- Осипов, Г. А., Аверина, Ю. М., & Куценко, А. С. (2023). Актуальные проблемы обращения с отходами в российской федерации. *Успехи в химии и химической технологии*, 37(4(266)), 158–164.
- Osipov, G. A., Averina, Yu. M., & Kutsenko, A. S. (2023). Actual problems of waste management in the Russian Federation. *Advances in Chemistry and Chemical Engineering*, 37(4(266)), 158–164. (In Russ.)
- Петросянц, Т. В. (2023). Эколого-экономическая оценка и утилизация пищевых отходов в РК. *Вестник науки*, 1(12(69)), 1050–1054. <https://doi.org/10.24412/2712-8849-2023-1269-1050-1054>
- Petrosyants, T. V. (2023). Ecological and economic assessment and disposal of food waste in the Republic of Kazakhstan. *Herald of Science*, 1(12(69)), 1050–1054. <https://doi.org/10.24412/2712-8849-2023-1269-1050-1054> (In Russ.)

- Примаков, Е. А., Иванова, Е. А., Кадина, А. Ю., & Грязнова, Е. А. (2022). Сравнительная оценка готовности населения к раздельному сбору отходов. *Географическая среда и живые системы*, (3), 74–89. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2022-3-74-89>
- Primak, E. A., Ivanova, E. A., Kadina, A. Yu., & Gryaznova, E. A. (2022). Comparative assessment of the preparedness of the population for separate waste collection. *Geographical Environment and Living Systems*, (3), 74–89. <https://doi.org/10.18384/2712-7621-2022-3-74-89> (In Russ.)
- Прокопенков, С. В., & Козлова, А. С. (2019). Проблемы и тенденции пространственного распределения вторичных материальных ресурсов и их переработка. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, (9(3)), 415–422. <https://doi.org/10.34670/AR.2019.89.3.045>
- Prokopenkov, S. V., & Kozlova, A. S. (2019). Issues and trends of areal distribution of secondary material resources and their processing. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 9(3A), 415–422. <https://doi.org/10.34670/AR.2019.89.3.045> (In Russ.)
- Сергиенко, О. И., Нечепуренко, А. И., Рахманов, Ю. А., & Василенок, В. Л. (2023). Эколого-экономическое обоснование принятия решений при выборе технологий термической утилизации отходов с учетом ранжирования критериев устойчивости. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент»*, (2), 150–163. <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2023-16-2-150-163>
- Sergienko, O. I., Nepochurenko, A. I., Rakhmanov, Yu. A., & Vasilenok, V. L. (2023). Ecological and economic justification of decision-making when choosing technologies for thermal adaptation of waste, taking into account the ranking of sustainability criteria. *Scientific journal of NRU ITMO. Series "Economics and environmental management"*, (2), 150–163. <https://doi.org/10.17586/2310-1172-2023-16-2-150-163> (In Russ.)
- Соколова, О. Г., Полежаева, М. В., & Чухарева, Е. В. (2019). Формирование модели управления твердыми коммунальными отходами. *Этап: экономическая теория, анализ, практика*, (3), 130–143. <https://doi.org/10.24411/2071-6435-2019-00031>
- Sokolova, O. G., Polezhaeva, M. V., & Chukhareva, E. V. (2019). Formation of a model for management of solid municipal waste. *Stage: Economic Theory, Analysis, Practice*, (3), 130–143. <https://doi.org/10.24411/2071-6435-2019-00031> (In Russ.)
- Соломин, И. А. (2020). Критерии выбора технологии обезвреживания твердых коммунальных отходов термическими методами (). *Природообустройство*, (1), 28–34. <https://doi.org/10.34677/1997-6011/2020-1-27-34>
- Solomin, I. A. (2020). Option criteria of neutralization technology of municipal solid waste by thermal methods. *«Prirodoobustrojstvo» (Environmental Engineering)*, (1), 28–34. <https://doi.org/10.34677/1997-6011/2020-1-27-34> (In Russ.)
- Тагаева, Т. О., & Казанцева, Л. К. (2018). Образование и утилизация отходов: региональные аспекты. *Интерэкспо Гео-Сибирь [Interekspo Geo-Sibir']*, 1(3), 3–11.
- Tagaeva, T. O., & Kazantseva, L. K. (2018). Waste management: regional aspects. *Interexpo Geo-Siberia*, 1(3), 3–11. (In Russ.)
- Blagoeva, N., Georgieva, V., & Dimova, D. (2023). Relationship between GDP and Municipal Waste: Regional Disparities and Implication for Waste Management Policies. *Sustainability*, 15(21), 15193. <https://doi.org/10.3390/su152115193>
- Makarenko, E. N., Tyaglov, S. G., & Sheveleva, A. V. (2023). Involvement in the Economic Circulation of Production Waste: Russian and European Experience. *Regionology*, 31(2), 313–334. <https://doi.org/10.15507/2413-1407.123.031.202302.313-334>
- Mondal, S., Singh, S., & Gupta, H. (2023). Green entrepreneurship and digitalization enabling the circular economy through sustainable waste management – An exploratory study of emerging economy. *Journal of Cleaner Production*, 422, 138433. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138433>
- Sánchez-García, E., Martínez-Falcó, J., Marco-Lajara, B., & Manresa-Marhuenda, E. (2024). Revolutionizing the circular economy through new technologies: A new era of sustainable progress. *Environmental Technology & Innovation*, (33), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103509>
- Semenova, G. (2021). Investment in ecology. *E3S Web of Conferences*, 258, 06062. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125806062>
- Shilkina, S. (2020). Global trends in waste management and analysis of the situation in Russia. *Russian Journal of Resources, Conservation and Recycling*, 7(1). <https://doi.org/10.15862/05ecor120>
- Starodubets, N. V., & Derbeneva, V. V. (2022). Formation of a regional strategy for municipal solid waste management considering greenhouse gas emissions. *Экономика региона [Ekonomika regiona]*, 18(4), 1234–1248.
- Tripathi, A., Prakash, A., & Prakash, J. (2022). Economics and market of wastes. In *Emerging Trends to Approaching Zero Waste*, (pp. 319–338). <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-85403-0.00003-7>
- Zhang, Z., Malik, M. Z., Khan, A., Ali, N., Malik, S., & Bilal, M. (2022). Environmental impacts of hazardous waste, and management strategies to reconcile circular economy and eco-sustainability. *Science of The Total Environment*, 807, 150856. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.150856>

Применение обработки низкотемпературной плазмой в пищевых производствах для интенсификации технологических процессов и повышения качества продукции

Д.В. Карпенко, А.Г. Гришин

Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

Корреспонденция:
Карпенко Дмитрий Валерьевич,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: KarpenkoDV@mgupp.ru

Конфликт интересов:
авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 15.05.2024

Поступила после рецензирования: 11.08.2024

Принята: 12.08.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Интенсификация технологических процессов является актуальной задачей в пищевых производствах. Одним из способов ее решения является применение прогрессивных приемов, в том числе, базирующихся на обработке низкотемпературной плазмой. Анализ публикаций, посвященных данному технологическому приему, позволил выявить спектр проблем, которые могут быть устранены за счет воздействия холодной плазмой, показать преимущества и ограничения этого метода.

Цель. Анализ информации о целях, режимах и результатах применения прямого и опосредованного воздействия атмосферной плазмой на объекты и процессы пищевых производств.

Материалы и методы. При подготовке обзора использовали рецензируемые статьи, опубликованные в период с 2001 по 2023 год на английском языке. Была проанализирована информация 128 источников в изданиях, индексируемых в зарубежных и отечественных базах данных Scopus, Web of Science, eLibrary (РИНЦ), в социальной сети ResearchGate, архивах журналов Innovative Food Science & Emerging Technologies, Journal of the Institute of Brewing, Applied Biochemistry and Microbiology, Kvasny prumysl, Foods and raw materials, Хранение и переработка сельхозсырья, Пиво и напитки, Вестник ВГУИТ, Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю. А. Овчинникова. На базе первичного анализа по ключевым словам были отобраны 74 источника для дальнейшего исследования.

Результаты. Анализ информации позволил заключить, что применение низкотемпературной плазмы является многофакторным воздействием на обрабатываемые объекты, так как плазма является не только ионизированным газом, но и источником ультрафиолетового излучения, тепла и электрически заряженных частиц. Изучаемый способ воздействия позволяет подавлять нежелательную грибную и бактериальную микрофлору и даже вирусы, интенсифицировать экстракцию целевых компонентов сырья, инактивировать нежелательные ферменты и, напротив, повышать активности нужных биокатализаторов, улучшать функционально-технологические свойства сырья, полупродуктов и их отдельных компонентов, снижать содержание микотоксинов. Отмечены существующие ограничения применения атмосферной плазмой, обусловленные недостатком информации о вызываемых ею изменениях химического состава пищевого продукта и его органолептических характеристик, потенциальным накоплением ксенобиотиков в результате разрушения микробных клеток, а также отсутствием единого принципа разработки устройств для генерации плазмы и параметров ее применения.

Выводы. Обработка низкотемпературной плазмой может быть эффективным инструментом решения широкого спектра задач в пищевых технологиях, однако для ее внедрения в промышленном масштабе требуется отработка режимов ее проведения, применение рационального оборудования и доказательства отсутствия негативных последствий применения такого приема в рамках конкретной технологии.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

интенсификация технологических процессов пищевых производств, низкотемпературная плазма, холодная плазма, атмосферная плазма, обработка плазмой

Для цитирования: Карпенко, Д. В., & Гришин, А. Г. (2024). Применение обработки низкотемпературной плазмой в пищевых производствах для интенсификации технологических процессов и повышения качества продукции. *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 27–41. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s217>



<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s217>

Application of Low-Temperature Plasma Treatment in Food Production to Intensify Technological Processes and Improve Product Quality

Dmitry V. Karpenko, Artem G. Grishin

Russian Biotechnological University
(BIOTECH University), Moscow, Russia

Correspondence:

Dmitry V. Karpenko,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway,
Moscow, 125080, Russia
E-mail: KarpenkoDV@mgupp.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 15.05.2024

Received in revised form: 11.08.2024

Accepted: 12.08.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Intensification of technological processes is an urgent task in food production. One of the ways to solve this problem is to use progressive techniques, including those based on low-temperature plasma treatment. An analysis of publications devoted to this technological technique made it possible to identify a range of problems that can be eliminated by exposure to cold plasma and to show the advantages and limitations of this method.

Purpose. Analysis of information on the purposes, modes and results of the use of direct and indirect treatment by atmospheric plasma on objects and processes of food production.

Materials and Methods. To prepare the review, we used peer-reviewed articles published between 2001 and 2023 in English. Information from 128 sources was analyzed in publications indexed in foreign and domestic databases Scopus, Web of Science, eLibrary (RISC), in the ResearchGate social network, archives of the journals Innovative Food Science & Emerging Technologies, Journal of the Institute of Brewing, Applied Biochemistry and Microbiology, Kvasny prumysl, Foods and raw materials, Storage and processing of agricultural raw materials, Beer and drinks, VSUIT Bulletin, Bulletin of biotechnology and physical and chemical biology named after Yu. A. Ovchinnikov. Based on the primary analysis, 74 sources were selected using keywords for further detailed research.

Results. Analysis of the information allowed us to conclude that the use of low-temperature plasma is a multifactorial effect on the objects being processed, since plasma is not only an ionized gas, but also a source of ultraviolet radiation, heat and electrically charged particles. The studied method of influence makes it possible to suppress undesirable fungal and bacterial microflora and even viruses, intensify the extraction of target components of raw materials, inactivate undesirable enzymes and, on the contrary, increase the activity of the necessary biocatalysts, improve the functional and technological properties of raw materials, intermediates and their individual components, and reduce the content of mycotoxins. The existing limitations of the use of atmospheric plasma are noted, due to the lack of information about the changes it causes in the chemical composition of the food product and its organoleptic characteristics, the potential accumulation of xenobiotics as a result of the destruction of microbial cells, as well as the lack of a unified principle for the development of devices for generating plasma and parameters for its use.

Conclusions. Low-temperature plasma treatment can be an effective tool for solving a wide range of problems in food technology, but its implementation on an industrial scale requires development of its implementation modes, the use of rational equipment and proof of the absence of negative consequences of using such a technique within a specific technology.

KEYWORDS

technological processes of food productions intensification, low-temperature plasma, cold plasma, atmospheric plasma, plasma treatment



To cite: Karpenko, D.V., & Grishin, A. G. (2024). Application of low-temperature plasma treatment in food production to intensify technological processes and improve product quality. *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 27–41. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s217>

ВВЕДЕНИЕ

Современное пищевое предприятие решает широкий спектр зачастую взаимоисключающих задач: обеспечение необходимого качества и безопасности готовой продукции, ее высокой привлекательности для потребителя в условиях жесткой конкуренции, соблюдение экологических нормативов, в том числе, за счет повышения глубины переработки сырья, достижение заданных уровней себестоимости продукции и рентабельности производства. Во многих отраслях пищевой промышленности традиционные технологии, отработанные на протяжении столетий и даже тысячелетий и не предполагающие применение воздействий обсуждаемого типа, уже не способны гарантировать успешное решение перечисленных задач. Это вызывает необходимость разработки и внедрения нетрадиционных подходов, включающих применение новых, эффективных и экономически обоснованных способов обработки сырья, полупродуктов и готовой продукции. Одним из таких подходов является применение обработки низкотемпературной плазмой на определенном этапе того или иного производства.

Основной целью наших исследований являлся анализ информации о целях, режимах и результатах применения воздействий волн и полей различной природы на объекты и процессы пищевых производств, однако при работе с источниками был выявлен большой интерес к использованию низкотемпературной (холодной) плазмы как эффективного средства решения широкого спектра технологических задач в разных отраслях пищевой промышленности. Плазма как таковая не является волной или полем, хотя и тесно связана с некоторыми из них, поэтому было принято решение подготовить отдельный обзор, посвященный такому принципу обработки. Пока он не имеет широкого практического внедрения, однако, по нашему мнению, является перспективной альтернативой как индустриально применяемым в пищевой промышленности, так и исследуемым способам воздействия волнами и полями.

В силу этого была поставлена задача сбора и анализа литературной информации о спектре технологических задач, которые могут быть решены за счет применения низкотемпературной (холодной) плазмы в различных отраслях пищевых производств, о режимах проведения обработки такого типа, ее преимуществах и недостатках. По нашему мнению, это позволит исследователям, работающим в данной области, обоснованно определять перспективные для изучения способы интенсификации процессов в пищевых производствах.

МЕТОДОЛОГИЯ

Материалы

Объектами анализа были публикации на английском и русском языках, однако релевантных работ на русском языке по тематике обзора с учетом ключевых слов обнаружено не было. Материалами для подготовки обзора являлись публикации в изданиях, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, социальной сети ResearchGate, электронной библиотеке eLibrary (РИНЦ), из архивов журналов Innovative Food Science & Emerging Technologies, Journal of the Institute of Brewing, Applied Biochemistry and Microbiology, Kvasny prumysl, Foods and raw materials, Хранение и переработка сельхозсырья, Пиво и напитки, Вестник ВГУИТ, Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю. А. Овчинникова, а также из библиографических пристатейных списков статей, обнаруженных ранее. Глубина поиска составляла 60 лет, однако самая ранняя из обнаруженных по теме исследования публикация датируется 2001 годом. Предпочтение отдавалось статьям в журналах МБД Web of Science и Scopus, квартили Q1 и Q2. Количество цитирований не принималось во внимание, так как многие процитированные статьи опубликованы в 2022–2023 годах.

Процедура исследования

На первом этапе по ключевым словам «интенсификация технологических процессов пищевых производств», «низкотемпературная плазма», «холодная плазма», «атмосферная плазма», «обработка плазмой» выявляли публикации за последние 60 лет в изданиях, индексируемых в БД Scopus и WoS и относящихся к квартилям Q1 и Q2. На втором этапе анализировали публикации из пристатейных списков литературы работ, отобранных нами ранее. Далее из рассмотрения исключали публикации, содержание которых дублировалось в другом источнике. В результате были отобраны 74 публикации. Их информацию структурировали в зависимости от целей проведения обработки низкотемпературной плазмой, включая примеры ее непрямого использования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Низкотемпературная плазма — частично ионизованный газ, состоящий из нейтральных атомов и молекул и заряженных частиц (ионов и электронов) (Bartoš et al., 2017). Плазма является источником многих частиц с высокой реакционной способностью: активных форм кислорода, атомарного кислорода (O), озона (O₃), гидроксильных радикалов (OH•) форм азота (N₂, NO, NO₂, радикалы оксида азота NO•) (Bušler et al., 2015). Кон-

центрации этих частицы в рабочем газе могут быть поддерживаться на заданном уровне в зависимости от решаемой задачи посредством введения в него тех или иных газообразных примесей. Помимо этого, плазма является источником ультрафиолетового излучения спектров УФ-А и УФ-В, которые эффективно используются для стерилизации медицинских инструментов и приборов. Еще одним фактором, обуславливающим потенциальную эффективность применения холодной плазмы, является следующий: плазменный разряд может быть использован в качестве источника тепла или интенсивного потока электрически заряженных частиц (Bermudez-Aguirre, Wemlinger, Pedrow, Barbosa-Cánovas, & Garcia-Perez, 2013). Экспериментально установлено, что влажность воздуха также влияет на окислительную способность плазменного разряда ввиду образования перекиси водорода и пероксиазотистой кислоты/пероксинитрита, механизм антимикробного действия которых очень похож на таковой у активных форм кислорода (Naïtali, Herry, Hnatiuc, Kamgang, & Brisset, 2012). Сконструировано множество устройств, генерирующих плазменные разряды, работающих в различных режимах (Bu et al., 2023). Однако это разнообразие и сложность плазмы как системы сделали сравнение их эффективности практически невозможным (Bartoš et al., 2017). Несмотря на упомянутый широкий спектр различных видов оборудования для генерации плазмы, предпочтение отдается работающим при атмосферном давлении из-за более легкого их использования в производственной практике (Ziuzina, Patil, Cullen, Keener, & Bourke, 2014; Baier et al., 2013).

Применение низкотемпературной плазмы для подавления нежелательной микрофлоры

Пищевые отравления даже в развитых странах часто связаны с употреблением продуктов, инфицированных патогенными микроорганизмами. Последние становятся более устойчивыми к традиционным методам дезинфекции; кроме того, многие потребители отдают предпочтение продуктам, не содержащим химикатов (Bermudez-Aguirre, Wemlinger, Pedrow, Barbosa-Cánovas, & Garcia-Perez, 2013), в том числе, применяемых для подавления патогенной микрофлоры. Значительное количество публикаций посвящено оценке эффективности обработки холодной плазмой с целью подавления развития нежелательных грибных (Molina-Hernandez, et al., 2023) и бактериальных культур (Sudarsan, & Keener, 2022; Wang, Z., et al., 2023; Zhao, et al., 2023). Основной действующей силой плазменной стерилизации являются УФ-из-

лучения и частицы с высокой реакционной способностью (Moisan et al., 2001). Экспериментальные данные позволяют предположить, что основную роль в подавлении нежелательных микроорганизмов играют молекулы кислорода и азота. Высказано мнение, что чистая холодная азотная плазма имеет низкую антимикробную эффективность по отношению к бактериям *Salmonella enteritidis* и *Salmonella typhimurium*, инокулированным на поверхность яичной скорлупы, однако приводятся и противоположные данные (Ragni et al., 2010; Illera, Souza, Nikmaram, Tang, & Keener, 2022), свидетельствующие о значительном снижении численности этих бактерий при использовании разрядов, образующихся в воздухе.

Апробирована (Maeda, Toyokawa, Shimizu, Imanishi, & Sakudo, 2015) инаktivация клеток бактерий рода *Salmonella* азотной плазмой, генерируемой статической индукцией. После обработки плазмой в течение 5 и более минут жизнеспособные клетки не обнаруживались. Причиной этого были повреждения внешних клеточных структур и геномной ДНК бактерий. Исследован механизм эффективной инаktivации холодной атмосферной плазмой бактерий *Pseudomonas aeruginosa* (Zhao, Y., et al., 2022).

Установлена (Lee et al., 2011) целесообразность применения холодной плазмы различных газовых смесей для инаktivации *Listeria monocytogenes* на агаре, поверхности мяса и нарезанной курице. Значительное снижение числа клеток бактерий обеспечивала обработка в течение 2 мин, при этом максимальную эффективность продемонстрировала смесь азота и кислорода.

Доказана (Ehlbeck et al., 2015) высокая эффективность применения воздушной плазмы для инаktivации различных бактерий (*Bacillus atropaeus*, *Escherichia coli*, *Listeria innocua*, *Pectobacterium carotovorum*, *Pseudomonas marginalis* и *Staphylococcus aureus*). После 15 мин воздействия количество выживших бактерий всех перечисленных родов снижалось ниже предела обнаружения.

Проведена (Tappi et al., 2023) оценка влияния обработки холодной атмосферной плазмой (поверхностным диэлектрическим барьерным разрядом) с различными газовыми смесями (80 % Ar/20 % O₂ или 80 % N₂/20 % O₂) на обеззараживание инокулированных возбудителей (*E. coli* и *L. innocua*; 10⁴ КОЕ/г инокулята) и эндогенной микробиоты порчи, а также на основные показатели качества филе морского леща (*Spaurus aurata*). Оно оценивалось по перевариваемости in vitro, биодоступности жирных кислот и степени гидролиза белков. Установ-

¹ Причины «нежелательности» могут отличаться в зависимости от конкретной технологии/производства. Это могут быть патогенные м/о, «м/о порчи», м/о, ухудшающие/изменяющие желаемые органолептические характеристики готового продукта. В любом из этих случаев их, по нашему мнению, можно именовать «нежелательными».

лено, что такая обработка в течение 20 мин привела к снижению бактериальной нагрузки в свежем филе морского леща до 10 КОЕ/г при использовании газовой смеси Ar/O_2 в течение 20 мин; продолжительность воздействия была более значимым фактором, чем состав газовой смеси. Наблюдалось незначительное увеличение окисления липидов (от 0,5 мг МДА/кг до 4 мг МДА/кг), но, по мнению авторов, на усвояемость продукта это не повлияло.

Испытаны (Ricciardi, Del Nobile, Conte, Fracassi, & Sardella, 2022) как прямая, так и непрямая обработка плазмой кустарной рикотты², обеспечившие увеличению срока хранения этого скоропортящегося продукта на 2 дня, при этом его органолептические характеристики сохранялись на уровне контрольных. По мнению авторов, обработка данного типа может быть привлекательна для свежих сыров ввиду простоты реализации, проведения при комнатной температуре и безопасности для окружающей среды.

Изучено (Hou et al., 2023) влияние холодной плазмы диэлектрического барьерного разряда на образование биопленки дрожжей *Pichia manshurica*. После обработки плазмой (80 кВ, 50 Гц) в течение 4,5 мин и 7,5 мин количество жизнеспособных клеток уменьшилось на 2 и 5 порядков, соответственно, а скорость биопленкообразования снизилась на 73 % и 48 % по сравнению с контролем. Воздействие плазмы вызывало значительные повреждения на морфологическом уровне, нарушение проницаемости клеточных мембран и метаболические изменения. Были разрушены ряд путей метаболизма аминокислот, цикл трикарбоновых кислот и синтез полимерных веществ.

В лабораторных условиях опробованы разряды, генерируемые не в различных смесях кислорода и азота, а в других газах, но их практическое использование вызывает ряд вопросов. Сообщается (Song et al., 2009), что инактивирующее действие разряда мощностью 150 Вт в гелии сильно зависело от типа пищевого продукта, инфицированного клетками *Listeria*: их титр снижался более, чем на 8 порядков при обработке нарезанного сыра, но в нарезанной ветчине он снижался незначительно, не более, чем вдвое. Важное значение наличия кислорода в рабочем газе подтверждено при проведении исследований с бактериями родов и видов *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* и *Salmonella typhimurium*, посеянными на бекон: проведено сравнение эффективности двух разных рабочих газовых сред (чистого гелия и смеси гелия и малых количества кислорода), показавшее, что кислород существенно повышал эффективность обработки холодной плазмой (Kim et al., 2011).

Интересной представляется информация (Velebit, et al., 2022) об эффективности применения холодной атмосферной плазмы для инактивации вирусов (мышинного норовируса (МН) и вируса гепатита (ВГ)) на ягодах малины сорта Willamette, которую инокулировали аэрозолем вирусов. Для генерации плазмы использовали импульсный положительный коронный разряд. Ягоды обрабатывали в течение 1, 3, 5, 7 и 10 минут при мощности 25 Вт. Воздействие холодной плазмы позволило снизить количество вирусных единиц на 4 порядка менее чем за 5 минут для МН и примерно за 10 минут для ВГ (от начальных уровней 6,91 и 7,84 $\log_{10}$ вирусных единиц/см³, соответственно). Обработка не привела к существенному ухудшению цвета ягод как важного показателя качества.

Бактерицидное действие холодной плазмы может быть использовано при упаковке пищевых продуктов. Технология может быть использована для стерилизации как упакованного продукта, так и самого упаковочного материала. Так, доказана возможность снижения количества клеток бактерий *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis* и *Escherichia coli*, инокулированных на коричневый рис, примерно на 2 порядка при воздействии холодной низкочастотной плазмой, генерируемой в атмосферном воздухе в пластиковом контейнере с образцами (Lee et al., 2016). Интересные данные получены при изучении непрямого воздействия холодной плазмы (Rød, Hansen, Leipold, & Knøchel, 2012): оно обеспечило снижения количества жизнеспособных клеток *Listeria innocua* на поверхности готового к употреблению мясного продукта (брезаолы) внутри герметичных полиэтиленовых пакетов. Сообщается, окисление липидов после такой обработке оставалось ниже порога обнаружения.

В рамках аналогичного подхода изучалось (Jeon, Lee, & Min, 2023) влияние обработки холодной плазмой разряда атмосферного диэлектрического барьера на антимикробную эффективность упаковки (оболочки) из изолята сывороточного белка, содержащей яблочную кислоту, и на диффузию яблочной кислоты в обработанное мясо куриной грудки без кожи. Такая упаковка с последующей обработкой холодной плазмой снижало количество клеток сальмонеллы примерно на 2 порядка. Воздействие холодной плазмы увеличило скорость снижения количества клеток сальмонеллы в упакованных образцах в процессе хранения при 4 и 10° С, а также повысило коэффициент диффузии яблочной кислоты в оболочке, не влияя на цвет и степень окисления липидов куриного мяса при хранении при 4°С, а также на паропроницаемость и модуль упругости самой оболочки.

² Речь идет о продукте «рикотта» (традиционный итальянский сывороточный сыр), произведенном кустарным способом, а не на индустриальном предприятии.

Обеспечение асептических условий технологического процесса, в том числе, рабочих поверхностей оборудования, контактирующих с сырьем и полупродуктами, является важнейшим условием обеспечения необходимого качества и безопасности пищевой продукции. Проведена оценка (Wang, Lavoine, & Salvi, 2023) эффективности воздействия холодной плазмы атмосферного давления для инактивации адгезивных клеток и биопленок *Escherichia coli* DH5α на двух материалах конвейерной ленты. Воздействие в течение 120 с на расстоянии 3 см от поверхности уменьшило количество как прикрепившихся клеток, так и компонентов 24-часовых биопленок на нержавеющей стали примерно на 5 порядков, а на поливинилхлориде — на 3,5 порядка, соответственно. Зрелые биопленки (выращенные в течение 72 часов) были более устойчивыми, чем 24-часовые биопленки, выращенные в течение 24 часов. На поцарапанных поверхностях наблюдалось меньшее снижение микробов по сравнению с неповрежденными. Никаких изменений химических свойств и визуальной топографии поверхностей из нержавеющей стали и ПВХ после обработки плазмой не зафиксировано. Непрерывная обработка холодной атмосферной плазмой рабочих поверхностей оборудования пищевых предприятий рекомендована и в работах (Katsigiannis, et al., 2022; Souza, Illera, Keener, 2022).

Аналогичный прием реализован в исследовании (Perni, Liu, Shama, & Kong, 2008), посвященном оценке результативности инактивации холодной атмосферной плазмой патогенов и микроорганизмов, вызывающих порчу манго и дынь. Вначале было установлено рабочее напряжение, необходимое для эффективного обеззараживания фруктов, для чего использовали *Escherichia coli* (10^7 КОЕ/см² на поверхности манго). При напряжении 16 кВ наблюдалось уменьшение количества клеток на 3 порядка на всех трех использованных средах. Дальнейшие исследования при установленных режимах проводили с использованием *Saccharomyces cerevisiae*, *Pantoea agglomerans* и *Gluconacetobacter liquefaciens*, число клеток которых на поверхности околоплодников манго и дыни составляло 10^6 КОЕ/см². Количество клеток *P. agglomerans* и *G. liquefaciens* снижалось ниже предела обнаружения уже через 2,5 с на обоих плодах, тогда как в случае *E. coli* на это потребовалось 5 с. *S. cerevisiae* были наиболее устойчивыми из изученных микроорганизмов: численность их клеток сократилась ниже предела обнаружения через 10 с на манго и через 30 с на дыне. Показано, что повышение приложенного напряжения привело к более эффективному производству реактивных частиц плазмы, особенно атомов кислорода, что, в свою очередь, повысило эффективность инактивации микроорганизмов.

Изучено (Kim, Lee, Lee, & Yoon, 2022) влияние плазмы диэлектрического барьерного разряда (ДБР) на уров-

ни *Escherichia coli* O157:H7 и *Bacillus cereus* в порошке красного перца, а также физико-химические свойства последнего при хранении при 25 °С. Порошок, инокулированный *E. coli* O157:H7 и *B. cereus*, обрабатывали плазмой ДБР с использованием аргона в качестве плазмообразующего газа при мощности 31 кВт в течение 0, 5, 10 и 15 мин. Показано, что такая обработка повреждает мембраны бактериальных клеток, что приводит к их гибели. Физико-химические свойства порошка красного перца не изменились в течение месяца после обработки. Авторы рекомендуют обработку плазмой ДБР в течение 15 минут для контроля патогенов пищевого происхождения в порошке красного перца без изменения его физико-химических свойств.

Многие аспекты воздействия холодной плазмы и механизм ее фунгицидной активности детально изучены в лабораторном масштабе (Molina-Hernandez, et. al., 2022), однако применение такого рода обработки в промышленном масштабе достаточно ограничено, так как ряд вопросов еще не решен. Так, требуется установить, какие вещества образуются при разложении микотоксинов и других химических соединений. Они могут быть даже более опасны, чем исходные микотоксины. Также необходимо выяснить, выделяются ли в пищевые продукты некоторые микотоксины при воздействии плазмы на микроскопические грибы и разрушения клеток последних. Важной проблемой является и масштабирование процесса обработки плазмой до промышленного уровня, в том числе, и из-за большого разнообразия используемых устройств и параметров процесса, отмеченных выше.

Использование плазменных технологий в пищевой промышленности целесообразно только в том случае, если органолептические характеристики продуктов питания (вкус, аромат и цвет), их химический состав и пищевая ценность не ухудшатся после обработки. В литературе приводится большое количество данных, которые свидетельствуют о сохранении показателей качества и безопасности свежих фруктов и овощей (Ramos, Miller, Brandão, Teixeira, & Silva, 2013), не допускающих грубых и интенсивных воздействий, например, клубники (Misra, Patil et al., 2014), томатов черри (Misra, Keener, Bourke, Mosnier, & Cullen, 2014). Приводятся данные о минимальных изменениях пищевой ценности орехов (Amini, & Ghoranneviss, 2016), семян пшеницы и тритикале (Kříž et al., 2015) в результате обработки плазмой в рациональных режимах. Обеззараживание яиц в скорлупе, зараженных *Salmonella enteritidis* и *Salmonella typhimurium*, не оказали существенного негативного воздействия даже при длительной обработке (до 90 мин) плазменными разрядами (Ragni et al., 2010). Установлено (Wang, Zhuang, Hinton, & Zhang, 2016), что обсуждаемый тип обработки не вызывает каких-либо существенных изменений в цвете поверхности и, как следствие, во внеш-

нем виде свежего филе куриной грудки, но существенно увеличивает микробиологическую стойкость продукта и срок его хранения.

Однако имеется достаточное количество экспериментальных данных, свидетельствующих о негативных последствиях плазменной обработки. Так, выявлено (Pasquali et al., 2016) эффективное снижение обсемененности бактериями *Listeria monocytogenes* и *Escherichia coli* листьев красного цикория под действием холодной плазмы; при этом, хотя непосредственно после обработки качество продукта оставалось неизменным, уже спустя сутки хранения фиксировались существенные изменения его внешнего вида по сравнению с контрольным вариантом. Аналогичные выводы сделаны (Baier et al., 2014) после изучения результатов воздействия холодной плазмы на салат, огурцы, яблоки и помидоры, которые показали, что такой тип обработки не обеспечивает сохранения должного качества этих продуктом; следует отметить, что такой вывод противоречит упомянутому выше мнению другой группы исследователей (Ramos, Miller, Brandão, Teixeira, & Silva, 2013). Показано, что плазменная обработка иногда приводит к изменению цвета пищевых продуктов; в частности, зафиксировано (Bursać Kovačević et al., 2016) изменение цвета гранатового сока при одновременном увеличении содержания в нем антоцианов с 21 до 35 %; отмечена также потеря пигментации киви (Ramazzina et al., 2015).

Помимо изменений цвета некоторые источники сообщают об ухудшении физических и химических параметров после обработки: существенном снижении твердости зерен коричневого риса (Lee et al., 2016), снижении прочности на разрыв и влагобарьерных свойств обезжиренной пищевой пленки на основе соевого шрота, используемой для хранения копченого лосося (Oh, Roh, & Min, 2016), уменьшение содержания свободных жирных кислот и фосфолипидного комплекса пшеничной муки (Bahrami et al., 2016).

Еще одной характеристикой пищевых продуктов, которая может разнонаправленно изменяться в результате обработки холодной плазмой является их антиоксидантная активность. В частности, в коричневом рисе она повышалась в результате такого воздействия (Bartoš et al., 2017; Lee et al., 2016), практически не изменялась в плодах киви (Ramazzina et al., 2015), тогда как в свеженарезанных яблоках незначительно возрастала после 5-минутной обработки, но при более длительном действии холодной плазмы снижалась примерно на 30 % по сравнению с контролем (Tappi et al., 2018).

Низкотемпературная плазма как средство интенсификации технологических процессов и улучшения характеристик и безопасности сырья и готовой продукции пищевых производств

Высказано мнение (Li, Li, Ma, & Zhou, 2023), что экономическая ценность жимолости невелика из-за трудности сбора урожая, хранения и транспортировки, а также из-за кислого вкуса. Однако она может быть сырьем для экстрагирования антоцианов. Изучена возможность интенсификации экстракции антоцианов жимолости за счет предварительной обработки холодной плазмой при различной мощности (0, 100, 200, 300 Вт) на основании определения выхода сухих веществ, состава мономеров и антиоксидантной способности экстракта. Установлено, что предварительная обработка холодной плазмой разрушает компоненты клеточных стенок жимолости, увеличивает шероховатость поверхности последних, повышает ее гидрофильность, улучшает ее гидратационные свойства и модифицирует ее ферментативную активность. В результате значительно возросли степень экстракции антоцианов (на 13,35–20,47 %), содержание мономеров антоцианов и антиоксидантная активность экстрактов. Кроме того, предлагаемый способ является более экологически безопасным, чем традиционные.

Предложена (Kumar, Pipliya, & Srivastav, 2023) обработка термической и холодной плазмой с целью инактивации полифенолоксидазы и пероксидазы в соке киви. Показано, что по сравнению с термической обработкой, обработка холодной плазмой эффективно сохраняет биохимические свойства сока.

Изучена возможность применения плазмы в производстве продуктов с низкой усвояемостью. Для этого модификацию пшеничного крахмала проводили с помощью α -амилазы и последующего воздействия плазмой, что обеспечило снижение молекулярной массы, число боковых цепей в амилопектине, кристалличности, силы набухания и вязкости пасты. Напротив, повысились температура клейстеризации и резистентность крахмала (Shen, et al., 2022).

Иные изменения, но также с целью улучшения функциональных свойств достигнуты за счет обработки холодной плазмой атмосферного давления муки из семян джекфрута (индийского хлебного дерева). Зафиксированы (Joy, Kalaivendan, Eazhumalai, Kahar, & Annapure, 2022) изменения морфологии с увеличением шероховатости поверхности, снижение степени кристалличности (с 25,75 % до 21,31 %) и модификации комплексов крахмал-белка. Они обеспечили увеличение растворимости в воде (с 9,65 до 14,11 г/г), абсорбции (с 6,39 до 7,66 г/г),

способности набухания (с 7,28 до 8,79 г/г). г), водоудерживающей способности (от 2,93 до 3,48 г/г) и сыпучести, снижение pH (с 6,59 до 6,05), влажности (с 8,14 до 5,26 %) и вязкости пасты.

Такой же подход апробирован (Jaddu, Pradhan, & Dwivedi, 2022) применительно к муке из мелких зерен просо для повышения ее ценности. Просяную муку обрабатывали холодной плазмой при двух разных мощностях электрического разряда (13 и 24 Вт) с выдержкой 10 мин, 20 мин и 30 мин. Определяли водо- и маслопоглощающую способность, способность к набуханию, индекс растворимости, наименьшую концентрацию желатинизации, цвет, вязкость, диспергируемость, насыпную и истинную плотность контрольной и обработанной плазмой муки. Показано, что плазменная обработка улучшила функциональные свойства пшеничной муки, в то время как ее физические свойства остались неизменными. В микроструктуре пшеничной муки выявлен распад гранул крахмала, выявлено снижение относительной кристалличности вследствие деполимеризации крахмала, вызванной действием активных форм кислорода и азота в холодной плазме.

Тонкие листы соевого творога, популярного в Китае пищевого продукта, в основном упаковываются под вакуумом для обеспечения длительного срока годности. Однако это приводит к слипанию листов, которое становится трудно разделять. Для решения этой проблемы был разработан (Yang, Wang et al., 2023) метод быстрой дегидратации листов под действием холодной плазмы.

Показана (Palabiyik, Korpuk, Konar, & Toker, 2023) возможность изменения органолептических и технологических показателей какао (кислотность, горечь, терпкость, растворимость и цвет) обработкой плазменной струей атмосферного давления вместо традиционного подщелачивания, являющегося трудоемким и энергозатратным процессом. Дополнительно предлагаемый способ обеспечивает лучшую сохранность биологически активных соединений (общее содержание фенолов и флавоноидов) в натуральных какао-порошках, требует примерно 65 % меньше времени, исключает необходимость применения химикатов, высокого давления или аэрации. Отмечается, что обработка холодной плазмой не привела к увеличению общей зольности и, следовательно, водоудерживающей способности порошков, в отличие от обычного подщелачивания; вызывала травление поверхности и удаление слоя комплексов белок-полифенол-клеточная стенка, эффективно снизила содержание кислых фракций какао-порошка. Негативными результатами является окисление какао-масла и образование продуктов распада олеиновой и линолевой кислот.

Доказана (Rout, & Srivastav, 2023) возможность структурной модификации белков с помощью холодной

плазмы для повышения технологической функциональности соединений этой группы с применением меньшего количества химикатов. Помимо этого, такая обработка обеспечивает инактивацию нежелательных ферментов, аллергенов, продление сроков годности различных пищевых продуктов.

Изучено (Mehta, et al., 2022) влияние холодной плазмы на экстракцию ксилоолигосахаридов (КОС) из рисовых и кукурузных отрубей. Перед экстракцией КОС из отрубей были выделены полифенолы и пищевые волокна. Обработка обсуждаемого типа значительно интенсифицировала экстракцию КОС за счет нарушения исходной микроструктуры отрубей. Кроме того, КОС, извлеченный таким способом, обладали лучшей перевариваемостью в желудке, не проявляли цитотоксичности в отношении клеточных линий RAW 264.7 и HepG2, стимулировали противовоспалительные процессы.

Микроволновая (2,45 ГГц) плазма, подаваемая под высоким отрицательным напряжением, успешно использовалась для частичного гидрирования пальмового олеина с целью производства маргарина с низким содержанием трансжиров при низкой температуре и низком давлении в отсутствие катализатора. Исследовано влияние различных параметров: скорости потока, мощности СВЧ, температуры реакции, отрицательного высокого напряжения и продолжительности реакции на йодное число и кулинарные характеристики гидрогенизированного масла. Выявлены оптимальные параметры: скорость потока 4 дм³/мин, мощность микроволновой обработки 600 Вт, температура 32 °C (из-за саморазогрева плазмы), отрицательное высокое напряжение 60 кВ и продолжительность реакции 4 часа, обеспечившие йодное число в диапазоне от 57,7 до 32,5. Содержание трансжирных кислот составило 4,23 %, что ниже, чем при обычном каталитическом гидрировании (Wongjaikham, et al., 2022).

По нашему мнению, целесообразно выделить еще одно потенциальное направление применения холодной плазмы в пищевых производствах, а именно, подавление развития популяций плесневых грибов и снижения содержания их метаболитов в продукции пищевых производств. Эти микроорганизмы могут накапливать нежелательные метаболиты — микотоксины, представляющие опасность для здоровья потребителя пищевых продуктов (Nagl & Schatzmayr, 2015). В настоящее время известно более трехсот микотоксинов, из них около двадцати «значимы с токсикологической точки зрения»; некоторые из них обладают комбинированным токсичным воздействием (Bartoš et al., 2017).

Микотоксины присутствуют практически во всех видах зернового сырья пищевых производств, на их концентрацию влияют различные факторы, в том числе,

агротехнические приемы при выращивании культур (Konvalina, et al., 2016) и условия хранения урожая.

Микотоксины термически и химически стабильны; выявлено, что обработка фунгицидами не изменяет их содержание в ячмене (Malachová et al., 2010). Рассматривалась эффективность различных способов снижения содержания этих токсинов в зерне ячменя: промывание горячей водой, подщелачивание, окисление, восстановление, гидролиз, гидратация (Bartoš et al., 2017). Они позволяют снизить концентрацию микотоксинов, но не обеспечивают достаточную безопасность сырья и произведенных из него пищевых продуктов.

В качестве альтернативного подхода было изучено (Amini, & Ghoranneviss, 2016) влияние плазмы на плесневые грибы *Aspergillus flavus*, которые накапливают афлатоксин. Обработка плазменной струей сухих грецких орехов в течение 10 мин устранила грибок с поверхности орехов. Подтверждена (Dasan, Boyaci, & Mutlu, 2016) эффективность воздействия холодной плазмы для обеззараживания кукурузы. Микрофлора зерен кукурузы, контаминированных спорами *Aspergillus flavus* и *Aspergillus parasiticus* снизилась до уровня ниже детектируемого после 3-минутной обработки. Такая степень обсемененности сохранялась при хранении обработанного образца кукурузы при 25° С в течение 30 суток. Аналогичный подход может быть эффективен для инактивации *A. flavus* и *A. niger* на арахисе как сырье для производства масла, значительно снижая в последнем концентрацию афлатоксина (Lin, C.-M., et al., 2022). Сообщается (Zahoranová et al., 2016), что обработка плазмой обеспечивает значительное снижение количества клеток мицелиальных грибов-продуцентов токсинов, а именно *Fusarium nivale*, *Fusarium culmorum*, *Trichothecium roseum*, *Aspergillus flavus* и *Aspergillus clavatus*, на поверхности искусственно зараженных семян пшеницы.

Сообщается (Zhi et al., 2023) о возможность непосредственного разложения афлатоксинов под действием холодной плазмы диэлектрического барьерного разряда в рисе, обсемененном токсигенными штаммами *Aspergillus*. Опытные образцы были инокулированы и инкубированы для получения различных уровней афлатоксинов. Скорость разложения афлатоксина В1 и общее количество афлатоксинов зависели от влажности зерна, содержания кислорода, времени обработки и напряжения. Обработка приводила к снижению количества афлатоксина В1 в рисе на 1,08–55,34 % в зависимости от условий. Не было обнаружено существенных изменений влажности, содержания белков и амилозы, цвета зерен в результате воздействия плазмы, однако оно усилило окисление жиров и сделало поверхность зерен более гладкой и пористой. Аналогичное мнение (без упоминания о негативных изменениях обрабатываемых

продуктов) об эффективном разложении афлатоксинов высказано в работе (Li, Yao, Wang, Tian, & Zhang, 2022).

Одним из пороков пива является так называемый «гашинг-эффект» — явление, заключающееся в одномоментном избыточном пенообразовании при откупоривании потребительской тары (например, бутылки) с пивом. Его причиной является немедленное выделение углекислого газа после открытия бутылки вследствие его выделения на микроскопических «ядрах конденсации» — гидрофобных твердых частицах, основу которых составляют поверхностно-активные белки, так называемые гидрофобины (Běláková et al., 2018). Продуцентами этих белков являются мицелиальные грибы рода *Fusarium*, заражающие зерновые культуры на разных этапах работы с зерном и, по некоторым предположениям, дополнительно развивающиеся в зерновой массе на стадии солодоращения.

Для подавления грибкового поражения зерновых культур перед проращиванием апробированы различные физические методы, некоторые из которых обсуждены в других разделах данного обзора. Недостатком большинства из них является то, что они устраняют лишь признаки грибкового поражения, но не устраняют его полностью; клетки, пережившие такую обработку, способны вновь размножиться в процессе соложения зерна, при этом воздействие не гарантирует сохранения качественных показателей готового солода требуемом уровне.

Было изучено (Bartoš, et al., 2017) влияние обработки ярового ячменя (сорт Франсин) низкотемпературными плазменными разрядами на «гашинг-потенциал» полученного из него солода. Обработку проводили повторными разрядами (от трех до десяти раз) в течение 0,5–2,0 секунд с интервалами, достаточными для охлаждения зерна

Пивоваренный ячмень и солод, полученный из него, подвергали обработке плазмой. В образцах солода определяли «гашинг-потенциал», а также оценивали ряд показателей качества (число Кольбаха, диастатическую силу, содержание β-глюканов в сусле, конечную при разжижении, экстрактивность солода в сухом веществе, разность холодного и горячего экстрактов, хрупкость зерна). «Гашинг-потенциал» значительно снизился в обработанных плазмой образцах солода. Остальные определявшиеся качественные характеристики солода остались на уровне контрольных.

Инактивация ферментов, ухудшающих качество пищевых продуктов по окончании производственного цикла, в частности, при хранении, может осуществляться различными способами. Предложено решение, базирующееся на воздействии холодной плазмы (Andreou

et al., 2023). Показано, что плазменная струя с диэлектрическим барьером, питаемая газообразным гелием, эффективно (на 55–80 % в зависимости от приложенного напряжения, потока гелия и продолжительности) инактивирует пектинметилэстеразу в свежавыжатом апельсиновом соке за короткое время воздействия (2–30 минут). Авторы отмечают, что тепловая «нагрузка» не является основным фактором инактивации пектинметилэстеразы — повышение температуры с 20 до 90° С привело к снижению активности фермента менее, чем на 5 %. Также за счет обработки холодной плазмы возможна инактивация полифенолоксидазы и пероксидазы, ответственных, в том числе, за ферментативное потемнение ломтиков банана — их активность снижалась на 70 и 100 %, соответственно. Помимо этого, зафиксировано увеличение общего содержания фенолов и флавоноидов в опытных образцах, что способствовало увеличению антиоксидантной активности более, чем на 50 %. Наилучшие результаты обработки холодной плазмой были получены при напряжении 6,9 кВ в течение 46 с. Содержание витамина В₆ в оптимальном образце достигало 0,8 мкг/100 г (Khoshkalam Pour, Khorram, Ehsani, Ostadrahimi, & Ghasempour, 2022).

Описан (Wang, T., et al., 2022) и противоположный по смыслу способ применения холодной атмосферной плазмы высокого напряжения (ХАПВН) как новой технологии модификации катализаторов. Катализатор рутений/многослойные углеродные нанотрубки был активирован ХАПВН вместо метода термического восстановления. Установлено, что активация ХАПВН при времени разряда 180 с, мощности разряда 150 Вт и расстояния между электродами 2,5 см при 25° С может эффективно снизить температуру и время активации. Показано, что катализатор, обработанный ХАПВН, не агрегирует и имеет высокую активность. Его применяли для проведения реакции изомеризации сафлорового масла с целью обогащения его конъюгированной линолевой кислотой. Ее содержание составило 43,02 %, содержание транс-олеиновой кислоты — 1,34 %, йодное число — 133,50 г I₂/100 г, а после пятикратного повторного использования относительная активность катализатора осталась на уровне 77 % от исходной.

Непрямое использование низкотемпературной плазмы для решения технологических задач

Сообщается (Xu & Tan, 2023) о возможности косвенного использования атмосферной плазмы. По мнению авторов, активированная плазмой микропузырьковая вода (АПМВ) представляет собой экологически безопасное дезинфицирующее средство, которое обладает мощными противомикробными свойствами и создает значительное напряжение сдвига на поверхностях,

контактирующих с пищевыми продуктами. Сравнивали результаты очистки трубок из ПВХ, инокулированных *Klebsiella michiganensis*, с помощью АПМВ, воды, активированной плазмой, воды с микропузырьками и хлорированной (100 мг/см³) воды. Наиболее сильный противомикробный эффект продемонстрировала именно АПМВ, обеспечив снижение количества бактериальных клеток примерно 3 порядка при скорости потока 1 м/с. Остальные апробированные дезинфектанты обладали примерно одинаковой бактерицидной активностью, снижая титр бактерий примерно на 2 порядка при всех выбранных скоростях потока. Деионизированная вода снизила численность *K. michiganensis* только в 10 раз при скорости потока 1 м/с.

Аналогичный подход предложен для увеличения срока хранения грецких орехов, которые в свежем виде обладают уникальным вкусом и содержат различные биологически активные вещества, но являются скоропортящимся пищевым продуктом «из-за отсутствия практических и экономически эффективных методов консервации после сбора урожая» (Xiao et al., 2023). Качество свежих ядер грецких орехов, обработанных деионизированной водой, водой, содержащей ClO₂, и активированной плазмой водой (АПВ) в течение 15 минут, контролировали в процессе хранения при температуре 4° С. Результаты показали, что 100-секундная обработка АПВ снизила общее количество жизнеспособных клеток более, чем на порядок. Бактерицидное и бактериостатическое действие АПВ превосходило таковое у раствора ClO₂ концентрацией 4 мг/дм³. Ядра грецких орехов, обработанные АПВ, сохраняли вкус в течение 12 сут хранения при температуре 4°С, в то время как в других вариантах посторонние запахи фиксировались уже после 6 сут. Более того, обработка АПВ может предотвратить потерю питательных веществ, потемнение и прогоркание, ингибировать повышение активностей пероксидазы, полифенолоксидазы и липазы. Возможность снижения количества микробных клеток (дрожжей, плесеней, продуцирующих сероводород микробов, молочнокислых бактерий, *Pseudomonas* spp., *Brochotrix thermosphacta* и *Enterobacteriaceae*) на 1,5–3 порядка при сохранении качественных показателей на протяжении 10 сут хранения была показана при изучении эффективности обработки АПВ филе морского леща (Chanioti et al., 2023) и лосося (Zhu, Tan et al., 2023). Еще одной группой объектов, обсемененность которых аэробными мезофильными микроорганизмами и *Escherichia coli* DH5a снижали за счет обработки активированной плазмой водой, являлись ростки люцерны, брокколи и клевера. Апробированная обработка не привела к визуальным изменениям цвета ростков и повреждениям тканей растений (Rivero, Wang, & Salvi, 2022).

В то же время, исследования токсичности воды, обработанной/активированной холодной плазмой, не дают

однозначного ответа о ее полной безопасности, которая зависит от параметров обработки (Katsaros et al., 2023).

Проведена (Wu, Shen, Li, Wu., & Chen, 2022) также оценка влияния иного способа непрямого применения плазмы. Обработанным ею в течение 30, 120 и 240с воздухом (ВОП) воздействовали на *Monilinia fructicola*, патоген желтых персиков «Цзинсю» и оценивали качество фруктов. Установлено, что обработка воздуха в течение 240с обеспечила лучший эффект обеззараживания, снижая количество клеток на $1,67 \log_{10}$ КОЕ/г сразу после обеззараживания, и более чем на $1,4 \log_{10}$ КОЕ/г во время хранения. Показано, что обсуждаемый способ обработки вызывал накопление галлокатаехина в околоплоднике, и антиоксидантная активность околоплодника также увеличивалась. Кроме того, не прямая обработка плазмой не оказала негативного влияния на общее количество растворимых сухих веществ, твердость и цвет желтых персиков. Сходные результаты — значительное снижение количества жизнеспособных микроорганизмов — получены (Durek, et al., 2022) при воздействии ВОП на сушеные мяту перечную, крапиву двудомную и лемонграсс, при этом отмечено ухудшение цветности и снижение содержания антиоксидантов, фенолов и флавоноидов в травах, которые, по мнению авторов, могут быть уменьшены за счет оптимизации параметров обработки.

ВЫВОДЫ

Низкотемпературная плазма является ионизированным газом, то есть, совокупностью частиц с высокой реакционной способностью; помимо этого, плазменный разряд является источником ультрафиолетового излучения, тепла и потока электрически заряженных частиц. Это дает возможность решения широкого спектра технологических задач в пищевых производствах за счет воздействия атмосферной плазмой. Наиболее часто целью обработки холодной плазмой является подавление нежелательной/патогенной микрофлоры на разных этапах переработки пищевого сырья и на упаковочных материалах и рабочих поверхностях технологического оборудования за счет нарушения клеточных мембран и метаболических процессов. Более того, приведена информация о возможности использования атмосферной плазмы для инактивации вирусов.

Показана возможность интенсификации технологических процессов в ряде отраслей пищевых производств: экстракции целевых компонентов сырья, инактивация нежелательных ферментов или, напротив, повышения активности нужных биокатализаторов, улучшения функционально-технологических свойств сырья, полу-продуктов и их отдельных компонентов.

Обработка низкотемпературной плазмой может быть эффективным способом снижения концентрации микотоксинов, накопленных в сырье еще до начала его промышленной переработки.

Предложены методы непрямого воздействия холодной плазмой за счет предварительной обработки ею технологической воды и воздуха «рабочей зоны».

При этом существуют ограничения рассматриваемого способа обработки, связанные с недостатком информации о вызываемых ею изменениях химического состава пищевого продукта и его органолептических характеристик, потенциальным накоплением ксенобиотиков как продуктов разрушения микробных клеток, а также отсутствием единого принципа разработки устройств для генерации плазмы и режимов ее применения.

Таким образом, обработка атмосферной плазмой может быть эффективным инструментом решения широкого спектра задач в пищевых производствах, однако для ее внедрения в промышленном масштабе требуется отработка режимов ее проведения, применение рационального оборудования и доказательства отсутствия негативных последствий применения такого приема в рамках конкретной технологии.

ВКЛАД АВТОРОВ

Карпенко Д.В.: концептуализация, методология, администрирование данных, создание рукописи и ее редактирование

Гришин А.Г.: проведение исследования, верификация данных, создание черновика рукописи

ЛИТЕРАТУРА

- Amini, M., & Ghoranneviss, M. (2016). Effects of cold plasma treatment on antioxidants activity, phenolic contents and shelf life of fresh and dried walnut (*Juglans regia* L.) cultivars during storage. *LWT – Food Science and Technology*, 73, 178–184. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.014>
- Andreou, A., Giannoglou, M., Xanthou, M.-Z., Passaras, D., Kokkoris, G., Evangelos Gogolides, E., & Katsaros, G. (2023). Inactivation of pectinmethylesterase in fresh orange juice by cold atmospheric plasma technology: A kinetic study. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103361. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103361>
- Baier, M., Görgen, M., Ehlbeck, J., Knorr, D., Herppich, W. B., & Schlüter, O. (2014). Non-thermal atmospheric pressure plasma: Screening for gentle process conditions and antibacterial efficiency on perishable fresh produce. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 22, 147–157. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2014.01.011>
- Bahrami, N., Bayliss, D., Chope, G., Penson, S., Pehinec, T., & Fisk, I. D. (2016). Cold plasma: A new technology to modify wheat flour functionality. *Food Chemistry*, 202(1), 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.01.113>
- Bartoš, P., Kříž, P., Havelka, Z., Bohatá, A., Olšan, P., Špatenka, P., Čurn, V., & Dienstbier, M. (2017). Plasma technology in food industry: mini-review. *Kvasny Prumysl*, 63(3), 134–138. <https://doi.org/10.18832/kp201716>
- Běláková, S., Havelka, Z., Bohatá, A., Hartman, I., Kábelová, H., Kříž, P., Dienstbier, M., Bartoš, P., & Špatenka, P. (2018). The effect of treatment of barley grain and malt with low-temperature plasma discharge on the malt gushing potential. *Kvasny Prumysl*, 64(6), 314–317. <https://doi.org/10.18832/kp201837>
- Bermudez-Aguirre, D., Wemlinger, E., Pedrow, P., Barbosa-Cánovas, G., & Garcia-Perez, M. (2013). Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce. *Food Control*, 34(1), 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.04.022>
- Bu, F., Feyzi, S., Nayak, G., Mao, Q., Santosh K. Kondeti, V. S., Bruggeman, P., Chen, C., & Ismail, B. P. (2023). Investigation of novel cold atmospheric plasma sources and their impact on the structural and functional characteristics of pea protein. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 83, 103248. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103248>
- Bursač Kovačević, D., Putnik, P., Dragović-Uzelac, V., Pedisić, S., Režek Jambrak, A., & Herceg, Z. (2016). Effects of cold atmospheric gas phase plasma on anthocyanins and color in pomegranate juice. *Food Chemistry*, 190, 317–323. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.05.099>
- Bußler, S., Herppich, W.B., Neugart, S., Schreiner, M., Ehlbeck, J., Rohn, S., & Schlüter, O. (2015). Impact of cold atmospheric pressure plasma on physiology and flavonol glycoside profile of peas (*Pisum sativum* "Salamanca"). *Food Research International*, 76, 132–141. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.045>
- Chanioti, S., Giannoglou, M., Stergiou, P., Passaras, D., Dimitrakellis, P., Kokkoris, G., Gogolides, E., & Katsaros, G. (2023). Plasma-activated water for disinfection and quality retention of sea bream fillets: Kinetic evaluation and process optimization. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103334. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103334>
- Dasan, B. G., Boyaci, I. H., & Mutlu, M. (2016). Inactivation of aflatoxigenic fungi (*Aspergillus* spp.) on granular food model, maize, in an atmospheric pressure fluidized bed plasma system. *Food Control*, 70, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.05.015>
- Durek, J., Fröhling, A., Bußler, S., Hase, A., Ehlbeck, J., & Schlüter, O. K. (2022). Pilot-scale generation of plasma processed air and its influence on microbial count, microbial diversity, and selected quality parameters of dried herbs. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 75, 102890. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102890>
- Ehlbeck, J., Schnabel, U., Andrasch, M., Stachowiak, J., Stolz, N., Fröhling, A., Schlüter, O., & Weltmann, K. D. (2015). Plasma treatment of food. *Contributions to Plasma Physics*, 55(10), 753–757. <https://doi.org/10.1002/ctpp.201510013>
- Hou, X., Wang, J., Mei, Y., Ge, L., Qian, J., Huang, Y., Yang, M., Li, H., Wang, Y., Yan, Z., Peng, D., Zhang, J., & Zhao, N. (2023). Antibiofilm mechanism of dielectric barrier discharge cold plasma against *Pichia manshurica*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103340. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103340>
- Illera, A. E., Souza, V. R., Nikmaram, N., Tang, L., Keener, K. M. (2022). High voltage atmospheric cold plasma decontamination of *Salmonella enteritidis* on chicken eggs. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103210. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103210>
- Jaddu, S., Pradhan, R. C., & Dwivedi, M. (2022). Effect of multipin atmospheric cold plasma discharge on functional properties of little millet (*Panicum miliare*) flour. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 77, 102957. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102957>
- Jeon, Y. J., Lee, H., & Min, S. C. (2023). Effects of in-package atmospheric dielectric barrier discharge cold plasma treatment on the antimicrobial efficacy of whey protein isolate-based edible films that incorporate malic acid against *Salmonella* in chicken breast processed meat. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103339. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103339>
- Joy, J. K., Kalaivendan, R. G. T., Eazhumalai, G., Kahar, S. P., & Annapure, U. S. (2022). Effect of pin-to-plate atmospheric cold plasma on jackfruit seed flour functionality modification. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103009. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103009>
- Katsaros, G., Giannoglou, M., Chanioti, S., Roufou, S., Javaheri, A., de Oliveira Mallia, J., Gatt, R., Agalou, A., Beis, D., & Valdramidis,

- V. (2023). Production, characterization, microbial inhibition, and in vivo toxicity of cold atmospheric plasma activated water. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103265. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103265>
- Katsigiannis, A. S., Hojnik, N., Modic, M., Bayliss, D. L., Kovač, J., & Walsh, J. L. (2022). Continuous in-line decontamination of food-processing surfaces using cold atmospheric pressure air plasma. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81, 103150. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103150>
- Khoshkalam Pour, A., Khorram, S., Ehsani, A., Ostadrahimi, A., & Ghasempour, Z. (2022). Atmospheric cold plasma effect on quality attributes of banana slices: Its potential use in blanching process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102945. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102945>
- Kim, Y. H., Lee, C., Lee, S.-J., & Yoon, K. S. (2022). Reduction of *E. coli* O157: H7 and *Bacillus cereus* levels in red pepper powder using dielectric barrier discharge (DBD) plasma for enhanced quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102916. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102916>
- Kim, B., Yun, H., Jung, S., Jung, Y., Jung, H., Choe, W., & Jo, C. (2011). Effect of atmospheric pressure plasma on inactivation of pathogens inoculated onto bacon using two different gas compositions. *Food Microbiology*, 28(1), 9–13. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2010.07.022>
- Konvalina, P., Štěrbá, Z., Vlášek, O., Moudrý, jr., J., Capouchová, I., & Stehno, Z. (2016). *Fusarium* spp. occurrence in grains of ancient wheat species. *Romanian Agricultural Research*, 33, 307–311.
- Kříž, P., Bartoš, P., Havelka, Z., Kadlec, J., Olšan, P., Špatenka, P., & Dienstbier, M. (2015). Influence of plasma treatment in open air on mycotoxin content and grain nutriment. *Plasma medicine*, 5(2), 145–158. <https://doi.org/10.1615/plasmamed.2016015752>
- Kumar, S., Pipliya, S., & Srivastav, P. P. (2023). n^{th} order kinetic modelling of peroxidase and polyphenol oxidase inactivation in kiwifruit juice during cold plasma and thermal treatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103475. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103475>
- Lee, H. J., Jung, H., Choe, W., Ham, J. S., Lee, J. H., & Jo, C. (2011). Inactivation of *Listeria monocytogenes* on agar and processed meat surfaces by atmospheric pressure plasma jets. *Food Microbiology*, 28(8), 1468–1471. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.08.002>
- Lee, K. H., Kim, H. J., Woo, K. S., Jo, C., Kim, J. K., Kim, S. H., Park, H. Y., Oh, S. K., & Kim, W. H. (2016). Evaluation of cold plasma treatments for improved microbial and physicochemical qualities of brown rice. *LWT – Food Science and Technology*, 73, 442–447. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.06.055>
- Li, J., Li, Z., Ma, O., & Zhou, Y. (2023). Enhancement of anthocyanins extraction from haskap by cold plasma pretreatment. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103294. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103294>
- Li, S., Yao, X., Wang, X., Tian, S., Zhang, Y. (2022). Reactive molecular dynamics simulation on degradation of aflatoxin B₁ by cold atmospheric plasmas. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103101. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103101>
- Lin, C.-M., Kumar Patel, A., Chiu, Y.-C., Hou, C.-Y., Kuo, C.-H., Dong, C.-D., & Chen, H.-L. (2022). The application of novel rotary plasma jets to inhibit the aflatoxin-producing *Aspergillus flavus* and the spoilage fungus, *Aspergillus niger* on peanuts. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 102994. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102994>
- Maeda, K., Toyokawa, Y., Shimizu, N., Imanishi, Y., & Sakudo, A. (2015). Inactivation of *Salmonella* by nitrogen gas plasma generated by a static induction thyristor as a pulsed power supply. *Food Control*, 52, 54–59. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.12.012>
- Malachová, A., Hajšlová, J., Ehrenbergerová, J., Kostelanská, M., Zachariášová, M., Urbanová, J., Cerkal, R., Šafránková, I., Marková, J., Vaculová, K., & Hrstková, P. (2010). *Fusarium* mycotoxins in spring barley and their transfer into malt. *Kvasný Prumysl*, 56(3), 131–137. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4112>
- Mehta, D., Purohit, A., Bajarh, P., Yadav, K., Shivhare, U. S., & Yadav, S. K. (2022). Cold plasma processing improved the extraction of xylooligosaccharides from dietary fibers of rice and corn bran with enhanced in-vitro digestibility and anti-inflammatory responses. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 103027. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103027>
- Misra, N. N., Keener, K. M., Bourke, P., Mosnier, J. P., & Cullen, P. J. (2014). In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of cherry tomatoes. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 118(2), 177–182. <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2014.02.005>
- Misra, N. N., Patil, S., Moiseev, T., Bourke, P., Mosnier, J. P., Keener, K. M., Cullen, P. J. (2014). In-package atmospheric pressure cold plasma treatment of strawberries. *Journal of Food Engineering*, 125, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.10.023>
- Moisan, M., Barbeau, J., Moreau, S., Pelletier, J., Tabrizian, M., & Yahia, L. (2001). Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiment and an analysis of the inactivation mechanisms. *International Journal of Pharmaceutics*, 226(1–2), 1–21. [https://doi.org/10.1016/S0378-5173\(01\)00752-9](https://doi.org/10.1016/S0378-5173(01)00752-9)
- Molina-Hernandez, J. B., Capelli, F., Laurita, R., Tappi, S., Laika, J., Gioia, L., Valbonetti, L., Chaves-López, C. (2022). A comparative study on the antifungal efficacy of cold atmospheric plasma at low and high surface density on *Aspergillus chevalieri* and mechanisms of action. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 82, 103194. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103194>
- Molina-Hernandez, J. B., Landi, L., De Flaviis, R., Laika, J., Romanazzi, G., & Chaves-Lopez, C. (2023). Understanding the mechanisms of action of atmospheric cold plasma towards

- the mitigation of the stress induced in molds: The case of *Aspergillus chevalieri*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 90, 103492. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103492>
- Nagl, V., & Schatzmayr, G. (2015). Deoxynivalenol and its masked forms in food and feed. *Current Opinion in Food Science*, 5, 43–49. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.001>
- Naïtali, M., Herry, J. M., Hnatiuc, E., Kamgang, G., & Brisset, J. L. (2012). Kinetics and bacterial inactivation induced by peroxydinitrite in electric discharges in air. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 32, 675–692. <https://doi.org/10.1007/s11090-012-9383-y>
- Oh, Y. A., Roh, S. H., & Min, S. C. (2016). Cold plasma treatments for improvement of the applicability of defatted soybean meal-based edible film in food packaging. *Food Hydrocolloids*, 58(2), 150–159. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.02.022>
- Palabiyik, I., Kopuk, B., Konar, N., & Toker, O. S. (2023). Investigation of cold plasma technique as an alternative to conventional alkalization of cocoa powders. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103440. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103440>
- Pasquali, F., Stratakis, A.C., Koidis, A., Berardinelli, A., Cevoli, C., Ragni, L., Mancusi, R., Manfreda, G., & Trevisani, M. (2016). Atmospheric cold plasma process for vegetable leaf decontamination: A feasibility study on radicchio (red chicory, *Cichorium intybus* L.). *Food Control*, 60, 552–559. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2015.08.043>
- Perni, S., Liu, D., Shama, G., & Kong, M. (2008). Cold atmospheric plasma decontamination of the pericarps of fruit. *Journal of Food Protection*, 71(2), 302–308. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-71.2.302>
- Ramazzina, I., Berardinelli, A., Rizzi, F., Tappi, S., Ragni, L., Sacchetti, G., & Rocculi, P. (2015). Effect of cold plasma treatment on physico-chemical parameters and antioxidant activity of minimally processed kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology*, 107(4), 55–65. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2015.04.008>
- Ramos, B., Miller, F. A., Brandão, T. R. S., Teixeira, P., & Silva, C. L. M. (2013). Fresh fruits and vegetables – An overview on applied methodologies to improve its quality and safety. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 20, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2013.07.002>
- Ragni, L., Berardinelli, A., Vannini, L., Montanari, C., Sirri, F., Guerzoni, M.E., & Guarnieri, A. (2010). Non-thermal atmospheric gas plasma device for surface decontamination of shell eggs. *Journal of Food Engineering*, 100(1), 125–132. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.036>
- Ricciardi, E. F., Del Nobile, M. A., Conte, A., Fracassi, F., & Sardella, E. (2022). Effects of plasma treatments applied to fresh ricotta cheese. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102935. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102935>
- Rivero, W. C., Wang, Q., Salvi, D. (2022). Impact of plasma-activated water washing on the microbial inactivation, color, and electrolyte leakage of alfalfa sprouts, broccoli sprouts, and clover sprouts. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81, 103123. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103123>
- Rout, S., & Srivastav, P. P. (2023). Effect of cold plasma on the technological and functional modification of plant proteins and enzymes. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103447. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103447>
- Rød, S. K., Hansen, F., Leipold, F., & Knøchel, S. (2012). Cold atmospheric pressure plasma treatment of ready-to-eat meat: Inactivation of *Listeria innocua* and changes in product quality. *Food Microbiology*, 30(1), 233–238. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.12.018>
- Shen, H., Ge, X., Zhang, Q., Zhang, X., Lu, Y., Jiang, H., Zhang, G., & Li, W. (2022). Dielectric barrier discharge plasma improved the fine structure, physicochemical properties and digestibility of α -amylase enzymatic wheat starch. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 78, 102991. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102991>
- Song, H. P., Kim, B., Choe, J. H., Jung, S., Moon, S. Y., Choe, W., & Jo, C. (2009). Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3-strain cocktail *Listeria monocytogenes*. *Food Microbiology*, 26(4), 432–436. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2009.02.010>
- Sudarsan, A., & Keener, K. (2022). Inactivation of spoilage organisms on baby spinach leaves using high voltage atmospheric cold plasma (HVACP) and assessment of quality. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103023. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103023>
- Tappi, S., Nissen, L., Casciano, F., Antonelli, G., Chiarello, E., Picone, G., Laurita, R., Capelli, F., Gherardi, M., Maccaferri, C., Gianotti, A., Bordoni, A., Espmark, Å. M., Capozzi, F., & Rocculi, P. (2023). Effect of cold plasma generated with different gas mixtures on safety, quality and nutritional aspects of fresh sea bream fillets. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103477. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103477>
- Tappi, S., Ramazzina, I., Rizzi, F., Sacchetti, G., Ragni, L., & Rocculi, P. (2018). Effect of plasma exposure time on the polyphenolic profile and antioxidant activity of fresh-cut apples. *Applied Sciences*, 8(10), 1939. <https://doi.org/10.3390/app8101939>
- Velebit, B., Milojević, L., Baltić, T., Grković, N., Gummalla, S., Velebit, M., Škoko, I., Mojsova, S., Putnik, P. (2022). Efficacy of cold atmospheric plasma for inactivation of viruses on raspberries. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 81, 103121. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103121>
- Wang, J., Zhuang, H., Hinton, A., Zhang, J. (2016). Influence of in-package cold plasma treatment on microbiological shelf life and appearance of fresh chicken breast fillets. *Food Microbiology*, 60(1), 142–146. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.07.007>
- Wang, Q., Lavoine, N., & Salvi, D. (2023). Cold atmospheric pressure plasma for the sanitation of conveyor belt materials: Decontamination efficacy against adherent bacteria and biofilms of *Escherichia coli* and effect on surface properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103260. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103260>

- Wang, T., Li, N., Luo, S., Wang, L., Jiang, L., Yu, D., & Han, C. (2022). Catalyst activation by cold plasma technology and its effect on isomerization of safflower seed oil. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 76, 102942. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.102942>
- Wang, Z., Zhao, Q., Gan, Y., Fan, Q., Hu, Z., Wang, Z., Cai, R., Yue, T., & Yuan, Y. (2023). Inactivation of *Alicyclobacillus contaminans* spores by dielectric barrier discharge plasma and its biological mechanism. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 87, 103415. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103415>
- Wongjaikham, W., Kongprawes, G., Wongsawaeng, D., Ngaosuan, K., Kiatkittipong, W., Hosemann, P., & Assabumrungrat, S. (2022). Production of low trans-fat margarine by partial hydrogenation of palm oil using nature-friendly and catalyst-free microwave plasma technique. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 80, 103107. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103107>
- Wu, Q., Shen, C., Li, J., Wu, D., & Chen, K. (2022). Application of indirect plasma-processed air on microbial inactivation and quality of yellow peaches during storage. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103044. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103044>
- Xiao, H., Zhang, S., Xi, F., Yang, W., Zhou, L., Zhang, G., Zhu, H., & Zhang, Q. (2023). Preservation effect of plasma-activated water (PAW) treatment on fresh walnut kernels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103304. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103304>
- Xu, P., & Tan, J. (2023). Inactivation and removal of *Klebsiella michiganensis* biofilm attached to the inner surfaces of piping by plasma-activated microbubble water (PMBW). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 86, 103360. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103360>
- Yang, T., Wang, Y., Yang, B., Zhang, Y., Wang, J., Qiang, S., Zhou, J., Li, S., & Chen, Y. (2023). Thin sheets of bean curd treated by cold plasma: Changes in surface structure and physicochemical properties. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103288. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103288>
- Zahoranová, A., Henselová, M., Hudecová, D., Kaliňáková, B., Kováčik, D., Medvecká, V., & Černák, M. (2016). Effect of cold atmospheric pressure plasma on the wheat seedlings vigor and on the inactivation of microorganisms on the seeds surface. *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, 36(2), 397–414. <https://doi.org/10.1007/s11090-015-9684-z>
- Zhao, S.-Q., Chen, L., Yan, B., Wang, L.-H., Zeng, X.-A., & Aadil, R. M. (2023). Inactivation of *Alicyclobacillus acidoterrestris* vegetative cells and spores induced by atmospheric cold plasma. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 89, 103461. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103461>
- Zhao, Y., Shao, L., Jia, L., Zou, B., Dai, R., Li, X., & Jia, F. (2022). Inactivation effects, kinetics and mechanisms of air- and nitrogen-based cold atmospheric plasma on *Pseudomonas aeruginosa*. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 79, 103051. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103051>
- Zhi, A., Shi, S., Li, Q., Shen, F., He, X., Fang, Y., Hu, Q., & Jiang, X. (2023). Aflatoxins degradation and quality evaluation in naturally contaminated rice by dielectric barrier discharge cold plasma. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 88, 103426. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103426>
- Zhu, W., Tan, G., Han, M., Bu, Y., Li, X., & Li, J. (2023). Evaluating the effects of plasma-activated slightly acidic electrolyzed water on bacterial inactivation and quality attributes of Atlantic salmon fillets. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 84, 103286. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103286>
- Ziuzina, D., Patil, S., Cullen, P. J., Keener, K. M., Bourke, P. (2014). Atmospheric cold plasma inactivation of *Escherichia coli*, *Salmonella enterica* serovar *Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* inoculated on fresh produce. *Food Microbiology*, 42, 109–116. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.02.007>

Разработка технологической блок-схемы и состава косметического средства для профилактики воспалительных заболеваний кожи (систематический обзор предметного поля)

М.С. Каночкина^{1,2}, Д.М. Гернет¹

¹ Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ), Москва, Россия

² Общество с ограниченной ответственностью «Алиптика Био», Москва, Россия

Корреспонденция:

Каночкина Мария Сергеевна,
Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ),
125080, Россия, г. Москва,
Волоколамское шоссе, 11
E-mail: kanoch@yandex.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Поступила: 06.05.2024

Поступила после
рецензирования: 27.06.2024

Принята: 12.08.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Воспалительные заболевания кожи и подкожной клетчатки широко распространены среди населения разных возрастных групп. Их отсутствие в категориях социально-значимых болезней понижает внимание лечебно-профилактических учреждений к данной группе. Кроме того, в связи с уходом крупных производителей косметических и парфюмерных средств с рынка Российской Федерации по причине санкционного давления западных стран, актуальным аспектом является импортозамещение отдельных групп товаров путем разработки новых отечественных профилактических косметических средств.

Цель. Авторами поставлена цель определить возможные компоненты и разработать технологическую блок-схему производства косметического средства на основе пробиотических микроорганизмов, перспективных для профилактики воспалительных кожных заболеваний, вызванных изменением микробиома.

Материалы и методы. В процессе написания настоящего обзора применялись источники, опубликованные в период с 2015 по 2024 год. Поиск проводили на основании следующих ключевых слов: «пробиотики», «пробиотическая косметика», «акне», «атопический дерматит», «лактобациллы», «растительные экстракты», «пробиотическая композиция». Анализируемую выборку библиографических источников составили 80 публикаций, размещенных в Scopus, Web of Science, PubMed, Google scholar, E-library, Cyberleninka, и 8 интернет-источников.

Результаты. Систематизирована информация о биологически активных веществах различного происхождения, в том числе дикоросах, обладающих синергическим действием, с целью определения состава и технологии получения инновационного косметического средства. Определены основные компоненты и подобрана форма косметического средства в виде сыворотки, способствующая максимальному усвоению активных компонентов, составлена технологическая блок-схема производства косметического средства.

Выводы. Обозначены дальнейшие направления исследования, включающие скрининг пробиотических штаммов микроорганизмов, их клеточных компонентов, которые имеют профилактическое или терапевтическое действие при atopическом дерматите и акне, поэтапный подбор ингредиентов для разработки рецептуры, позволяющей использовать живые пробиотические микроорганизмы или их активные компоненты, разработка и детальный подбор косметической основы, разработка технологии производства и анализ особенностей хранения инновационных косметических средств.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

пробиотики, пробиотическая косметика, акне, atopический дерматит, лактобациллы, растительные экстракты, пробиотическая композиция.

Для цитирования: Каночкина, М. С., & Гернет, Д. М. (2024). Разработка технологической блок-схемы и состава косметического средства для профилактики воспалительных заболеваний кожи (систематический обзор предметного поля). *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 42–57. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s214>



<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s214>

Development of a Technological Flowchart and the Main Components of the Composition of a Cosmetic Product for the Prevention of Inflammatory Skin Diseases (Systematic Scoping Review)

Maria S. Kanochkina^{1,2}, Daria M. Gernet¹

¹ Russian Biotechnological University (BIOTECH University), Moscow, Russia

² Limited Liability Company «Microbial nutrients immunocorrectors», Moscow, Russia

Correspondence:

Maria S. Kanochkina,
Russian Biotechnological University,
11, Volokolamskoe highway,
Moscow, 125080, Russia
E-mail: kanoch@yandex.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 06.05.2024

Received in revised form: 27.06.2024

Accepted: 12.08.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. Inflammatory diseases of the skin and subcutaneous adipose tissue are widespread among the population of different age groups. Failure to classify them as socially significant diseases reduces the attention of medical institutions to this group of diseases. Moreover, since large manufacturers of cosmetics and perfumes have left the market of the Russian Federation due to the sanctions by Western countries, an urgent aspect is the import substitution of certain groups of goods through the development of new Russian preventive cosmetics. It should be noted that the perfumery and cosmetics industry has a high development dynamics and requires the introduction of raw materials grown in Russia into the technological process, including wild plants, in order to reduce economic costs for their production.

Purpose. The authors aim to identify possible composition and develop the block-scheme of the cosmetic product technology based on probiotic studies that are promising for the prevention of inflammatory skin diseases caused by changes in the skin microbiome.

Materials and Methods. Analysis of research papers in Russian and English, reflecting the characteristics of the therapeutic effect of biologically active substances of microbial, plant, mineral or synthetic origin, which have a synergistic effect with probiotics, contributed to the identification of the most promising components for their use in an innovative cosmetic form (serum). To write this review, we used peer-reviewed articles and other sources published between 2015 and 2024, in Russian and English. We searched for the following keywords: «probiotics», «probiotic cosmetic», «acne», «atopic dermatitis», «Lactobacillus», «plant extracts», «probiotic composition». The studied collection of sources includes 80 publications published in domestic and foreign databases (Scopus, Web of Science, SciHub, PubMed, Google scholar, E-library, Cyberleninka) and 8 online sources. During the initial analysis of publications (annotation analysis), 80 sources were selected for relevance to the topic, of which 72 were research papers, 8 were online sources.

Results. This review has systematized the information on biologically active substances of various origins, including wild plants, which have a synergistic effect, in order to determine the composition and the technology of an innovative probiotic cosmetic product. The main components were determined and the form of the cosmetic product in the form of a serum was theoretically selected, which promotes maximum absorption of the active components from it. Finally, the block-scheme of the cosmetic product technology was developed.

Conclusion. Further research areas include screening of probiotic strains of microorganisms and their cellular components that have a preventive or therapeutic effect in the field of inflammatory skin diseases, including atopic dermatitis and acne (acne vulgaris), step-by-step selection of ingredients to develop a formulation that allows the use of probiotic microorganisms in a viable state or their active components, development and detailed selection of the basis of a cosmetic product, development of the technology and analysis of features of storage of innovative cosmetics.

KEYWORDS

probiotics, probiotic cosmetic, acne, atopic dermatitis, Lactobacillus, plant extracts, probiotic composition.

To cite: Kanochkina M. S., & Gernet, D. M. (2024). Development of a technological flowchart and the main components of the composition of a cosmetic product for the prevention of inflammatory skin diseases (Systematic scoping review). *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 42–57. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s214>



ВВЕДЕНИЕ

Воспалительные заболевания кожи, представленные в основном атопическим дерматитом (далее — АтД), контактным дерматитом, экземой и акне (угри обыкновенные), в настоящее время имеют широкое распространение среди населения разных возрастных групп. Атопический дерматит и акне (*acne vulgaris*) по международной классификации болезней (МКБ-10, 2024) относятся к классу XII «Болезни кожи и подкожной клетчатки»¹, но не являются социально-значимыми болезнями населения, что понижает внимание к ним лечебно-профилактических учреждений. По данным Федеральной службы государственной статистики и Министерства здравоохранения общая заболеваемость кожными болезнями за последние 3 года составила: 4979,0 в 2020 г., 5194,3 в 2021 г. и 5292,0 в 2022 г. на 147 182 123 человек соответственно. Акне поражает до 95 % пациентов, но наиболее часто встречается у лиц женского пола, заболеваемость женщин старше 25 лет составляет более 50 %². Повышенная распространенность заболевания встречается у лиц подросткового возраста (15÷18 лет) и связана с изменением гормонального фона. Гендерные распределения заболеваемости по степени тяжести схожи, однако у лиц мужского пола преобладает тяжелая форма, характеризующаяся более длительным течением. У ряда пациентов, обращающихся к врачам-дерматологам, был обнаружен хронический рецидивирующий характер заболевания, в том числе формирование поздних акне (*acne tarda*) в возрасте от 30 до 40 лет. С каждым годом наблюдается рост распространенности акне у лиц зрелого возраста (Андреева et al., 2020).

Распространенность и заболеваемость АтД среди населения составили 390,4 и 155,4 (2021 г.) на 100 тыс. населения. По сравнению с 2020 г. в 2021 г. распространенность увеличилась на 3 %, а заболеваемость снизилась на 2 % (Кубанов & Богданова, 2022). Доля АтД составляет от 20 % до 40 % от общего количества кожных заболеваний, встречающееся во всех странах, у мужчин и женщин разного возраста. Исследование распространенности заболевания показывает, что оно наиболее часто встречается у лиц детского возраста (до 20 %), чем у взрослых (2÷8 %) (Gandhi, Pirozzi & Graham, 2017). Легкая форма АтД характеризуется обострениями реже 1÷2 раз в год и продолжительностью рецидива до 30 дней в осенне-зимний сезон, а продолжительность ремиссий составляет от 8

до 10 месяцев и более. Среднетяжелая форма имеет повышенную частоту обострений — до 3÷4 раз в год с увеличением продолжительности по сравнению с легкой формой, длительность ремиссий снижается до 2÷3 месяцев. Тяжелая форма АтД характеризуется длительными и частыми обострениями более 5 раз в год, снижением длительности ремиссий до 1÷1,5 месяца³. В связи с распространенностью, различной длительностью ремиссий, применением иммуносупрессивных и антибиотических препаратов в процессе лечения, направленных в основном на устранения симптомов воспалительных заболеваний кожи и подкожной клетчатки, необходимо активное применение профилактических топических средств, в том числе пробиотиков.

За последние 5 лет проведено множество исследований, посвященных развитию воспалительных заболеваний кожи и подкожной клетчатки по причине качественного и количественного изменения микробиома кожи, заключающегося в уменьшении содержания полезных пробиотических штаммов и повышении количества условно-патогенных, таких как *Cutibacterium acnes* и *Staphylococcus aureus* (He & Jia, 2022). Местное применение пробиотиков признано перспективным направлением профилактики кожных заболеваний, в том числе АтД и акне (Puebla-Barragan & Reid, 2021). Разработка и внедрение в косметологическую практику пробиотической косметики может снизить как симптоматические проявления кожных заболеваний, так и патогенетические особенности их развития.

Необходимо отметить, что в связи с уходом с рынка Российской Федерации ряда крупных зарубежных производителей косметических средств (Estee Lauder, L'Oreal, Henkel и других), повышением импортозависимости (80÷90 %) и конечной стоимости продукта или отдельных компонентов (Суетина, 2023), нарушением логистических цепочек поставки сырья, необходимо обеспечивать развитие отечественного производства парфюмерно-косметической продукции (далее — ПКП), способного к конкуренции, увеличению объемов выпускаемой продукции и соответствию тренда на органическую косметику⁴.

Таким образом, **целью** исследования является систематический анализ научной литературы для определения возможных компонентов и технологических особенностей производства косметического средства на основе

¹ Болезни кожи и подкожной клетчатки (L00-L99). (2024). МКБ 10 — Международная классификация болезней 10-го пересмотра. <https://mkb-10.com/index.php?pid=11001>

² Федеральная служба государственной статистики. (2024). Здравоохранение. <https://rosstat.gov.ru/folder/13721>

³ ГНЦ Институт иммунологии ФМБА России. (2020). Клинические рекомендации: Атопический дерматит. https://www.ncii.ru/specialistam/klinrecommend/atopic_dermatitis_2020.pdf

⁴ Правительство Российской Федерации. (2023, 7 июня). Стратегия развития фармацевтической промышленности Российской Федерации на период до 2030 года. <http://static.government.ru/media/files/HqCzKkoTf7fzVdKSYbhNiZHZWTEAAQ3p.pdf>

пробиотических микроорганизмов, перспективных для профилактики и лечения воспалительных кожных заболеваний, вызванных изменением микробиома.

Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи:

1. С учетом критериев включения и исключения, определенных в исследовании, выполнить поиск и отбор библиографических источников для составления текста настоящего обзора.
2. Структурировать и систематизировать данные с целью определения основных биологически активных компонентов косметического средства и его технологии производства, создания иллюстративного материала.
3. Выявить основные виды пробиотических микроорганизмов и их компонентов, растительного сырья, биологически активных веществ минерального или синтетического происхождения, обладающих синергическим действием, перспективных для внедрения в технологию косметических средств в качестве действующих веществ.
4. Определить наиболее перспективную косметическую форму и предложить возможную технологическую блок-схему производства инновационного косметического средства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалы

В процессе написания настоящего обзора применялись рецензируемые статьи, обзоры и другие источники, опубликованные в период с 2015 по 2024 год, на русском

и английском языке. Источники, опубликованные вне указанного периода, были использованы по причине их актуальности и/или отсутствию аналогичных исследований по определенному аспекту в предметном поле. Отобранные библиографические источники ранжировали в зависимости от соответствия критериям включения в обзор: корреляция информации направлению настоящего исследования, наличие одного или нескольких ключевых слов и временной период, наиболее близкий к 2024 году. Критериями исключения были статьи, не связанные с лечебными и/или профилактическими свойствами биологически активных веществ (далее — БАВ) при воспалительных заболеваниях кожи и подкожной клетчатки, а также источники, предусматривающие использование условно-патогенных микроорганизмов в составе косметического средства.

Методы

Библиографические источники были отобраны в соответствии с ранжированием и параметром «ключевые слова». Таким образом, для целенаправленного поиска по базам данных научных публикаций были выбраны в качестве ключевых слов первого уровня: «пробиотики», «пробиотическая косметика», «акне», «атопический дерматит», «лактобациллы», второго уровня — «растительные экстракты», «пробиотическая композиция». Данные ключевые слова использовались в виде комбинаций для поиска научных публикаций в отечественных и зарубежных базах данных, таких как Scopus, Web of Science, PubMed, Google Scholar, eLibrary и Cyberleninka. Было отобрано источников в количестве 88, из них 80 научных публикаций и 8 интернет-источников. После анализа авторефератов и аннотаций статей произошло

Рисунок 1

Блок-схема в соответствии с протоколом PRISMA, включающая процесс подбора библиографических источников



исключение источников, которые не соответствовали критериям включения. В подборку вошли 76 источников, из них 68 статей (23,5 % опубликованных на русском языке, 76,5 % — на иностранном (английском) языке) и 8 интернет-источников. С целью написания обзора применяли методы обработки полученной информации, в том числе цифровые. Основные положения настоящего обзора: рынок косметических средств и его нормативное правовое регулирование, пробиотические микроорганизмы и их компоненты, синергическое действие пробиотиков с БАВ растительного происхождения, синергическое действие пробиотиков с БАВ минерального и синтетического происхождения, выбор косметической формы и ее состава. Обзор предметного поля исследования включал в себя применение протокола PRIZMA, в результате была составлена блок-схема (Рисунок 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рынок косметических средств и его нормативное правовое регулирование

Современный рынок косметических средств содержит множество сегментов уходовой и декоративной косметики, содержащей пробиотические микроорганизмы или их компоненты. Такими продуктами являются: дезодоранты, праймеры, бальзамы для губ, мыла, тональные кремы, средства для очищения кожи, гели, маски, кремы, сыворотки, мази, тоники, тонеры, порошки, лосьоны, пилинг-подушечки для лица (Puebla-Barragan & Reid,

2021; Habeebuddin, Karnati & Shiroorkar, 2022). В качестве микроорганизмов, входящих в состав косметических средств, применяют: *Bacillus* spp., *Bifidobacterium* spp., *Lactobacillus* spp., *Lactococcus* spp., *Leuconostoc* spp., *Saccharomyces* spp., *Streptococcus* spp. и другие. Компоненты микроорганизмов могут быть представлены в составе инновационных продуктов в виде ферментативных комплексов, лизатов пробиотиков, бесклеточных супернатантов, ферментативных экстрактов, фильтратов, инкапсулированных пробиотиков, йогуртов и их экстрактов, в то же время применяются в исследовательских и технологических целях живые или инактивированные лиофилизированные пробиотические штаммы (Puebla-Barragan & Reid, 2021). Инновационные косметические продукты характеризуются содержанием биологически активных веществ, полученных из пробиотических культур микроорганизмов (Рисунок 2).

В связи с использованием активных компонентов и невозможностью применения соответствующих технологических циклов автоклавирования, в большинстве случаев производство косметических средств для местного применения характеризуется содержанием различных консервантов, угнетающих рост патогенных микроорганизмов, которые потенциально могут влиять на жизнедеятельность пробиотических штаммов и изменять микробиом кожи человека при местном применении (Osborne, Tan & Varma, 2018; Zawistowska-Rojek, Zareba & Tyski, 2022). По нашему мнению, фундаментальный подход к выбору косметической основы, анализ совместимости компонентов косметической формы может

Рисунок 2
Активные компоненты, получаемые из пробиотических микроорганизмов и используемые в производстве косметических средств



обеспечить стабильность и сохранность пробиотических клеток, оказывающих влияние на состав микробиома кожи, без использования вредных, неорганических консервантов.

В настоящее время, ПКП относится к отдельному классу продуктов, в отличие от лекарственных средств, поэтому их обращение в первую очередь затрагивает вопросы безопасности, а не эффективности при применении. Оборот косметических средств и их позиционирование в качестве «терапевтических» средств в аптечных организациях является исключительно маркетинговым методом продвижения производителя, так как клиническая обоснованность применения при лечении конкретных патологий, как правило, не проводится в отношении данного вида товарного ассортимента (Кузякова, Глижова & Айро, 2019; Колодяжная & Кафтулина, 2020). Также следует отметить, что технологические особенности получения косметических средств имеют существенную проблему в части поддержания стерильности продукции. По причине ограниченной микробной нагрузки, указанной в нормативной документации, производители косметических средств чаще используют инактивированные пробиотики, их метаболиты вместо живых пробиотиков для повышения срока годности и стабильности.

Нормативное регулирование косметических средств, полученных биотехнологическими методами с применением пробиотиков, в странах Евразийского экономического союза (ЕАЭС), в том числе в Российской Федерации, осуществляется согласно ТР ТС №009/2011⁵ и отличается по требованиям от норм Европейского союза (ЕС №1223/2009)⁶ и Соединенных Штатов Америки (*U.S Food&Drug Administration* — *USFDA*)⁷ в отношении общей микробной нагрузки и патогенных микроорганизмов в зависимости от формы косметического средства. В соответствии с ТР ТС №009/2011 общая микробная нагрузка косметических средств, наносимых на кожу вокруг глаз и на губы (группа 1) не должна превышать 10^2 КОЕ/г (см^3) для остальных косметических средств (группа 2) — 10^3 КОЕ/г (см^3). Не допускается содержание в 0,5 г (см^3) (группа 1) и в 0,1 г (см^3) (группа 2) следующих видов микроорганизмов: *Candida albicans*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa*. Согласно регламентации ЕС №1223/2009 общее содержание микроорганизмов в косметических средствах для взрослых — не более 10^3 КОЕ/г (см^3), а для детей — 10^2 КОЕ/г (см^3) за исключением патогенных микроор-

ганизмов (*E. coli*, *P. aeruginosa* и *S. aureus*). *USFDA* определяет косметические продукты как нестерильные, но не содержащие патогенные микроорганизмы, а также имеющие минимальную микробную нагрузку средства (Kim, Seok & Cho, 2020; Almkainzi, Alotaibi & Abdulwahab, 2022). Требования в отношении микробной нагрузки для средств, применяемых на кожу вокруг глаз и детских косметических средств — не более 500 КОЕ/г (см^3), для остальных косметических средств — не более 10^3 КОЕ/г (см^3).

Таким образом, технический регламент ЕАЭС имеет более строгое нормирование, в том числе в части патогенных микроорганизмов — добавлен вид *Candida albicans* в отличие от нормативной документации США и ЕС. Общая микробная нагрузка по требованиям косметических средств для кожи вокруг глаз и детской косметики *USFDA* в 2 раза меньше установленных показателей, отраженных в ТР ЕАЭС и Регламенте ЕС. Требования в отношении общей микробной нагрузки для остальных косметических средств составляют не более 10^3 КОЕ/г (см^3). В связи с этим разработка косметических средств нового поколения, содержащих активные пробиотические клетки в концентрации до 10^3 КОЕ/г (см^3), как для внутреннего, так и для экспортного рынка возможна и актуальна.

Пробиотические микроорганизмы и их компоненты

Косметические продукты, включающие в свой состав пробиотические штаммы или их компоненты, в том числе лизаты и экстракты, обладают глубоким увлажняющим действием, стимулируют выработку кожей липидов и регулируют восстановительные процессы эпидермиса. Эффекты, проявляемые при их применении, заключаются в: исчезновении или снижении количественного содержания патогенной флоры, уменьшении синтеза метаболитов-токсинов, повышении синтеза антител и цитокинов, регуляции гомеостаза иммунной системы (Chilicka et al, 2022).

На основании изученных источников выделены следующие виды пробиотических микроорганизмов, обладающих биологическим действием в отношении устранения проявлений кожных заболеваний: *Lactiplantibacillus plantarum*, *Limosilactobacillus fermentum*, *Lactiplantibacillus paraplantarum*, *Limosilactobacillus reuteri*, *Lactisecibacillus*

⁵ Евразийская экономическая комиссия. (2011, 23 сентября). Технический регламент Таможенного союза «О безопасности парфюмерно-косметической продукции» № ТР ТС 009/2011. http://www.eurasiancommission.org/ru/Lists/EECDocs/P_799_3.pdf

⁶ Европейский парламент и Совет Европейского Союза. (2009, 30 ноября). Регламент ЕС №1223/2009. <https://www.icq.eu/userfiles/files/regulation%20ec%201223%202009%20cosmetic%20products.pdf>

⁷ U.S. FOOD & DRUG Administration (2024). Microbiological Safety and Cosmetics. <https://www.fda.gov/cosmetics/potential-contaminants-cosmetics/microbiological-safety-and-cosmetics>

paracasei, *Latilactobacillus sakei*, *Lacticaseibacillus casei*, *Lacticaseibacillus rhamnosus*, *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*, *Lactobacillus johnsonii*, *Levilactobacillus brevis*. Местная терапевтическая активность пробиотиков зависит от продуцируемых ими метаболитов, либо содержания БАВ в их лизатах, либо применения их в жизнеспособном состоянии для устранения жизнедеятельности патогенной микрофлоры. К таким БАВ относятся: компоненты клеточной стенки (липополисахариды, белки), белки и пептиды с вне-

клеточным способом высвобождения (бактериоцины, ферменты), клеточные метаболиты (экзополисахариды, липотейхоевая кислота, гиалуроновая кислота, молочная кислота, сфингомиелиназа) и другие (Таблица 1). Живые и инаktivированные пробиотики, их метаболиты способны оказывать различное полифункциональное терапевтическое действие в отношении заболеваний кожи, в том числе АТД, акне и эритемы путем внесения изменений в микробиом. Основные эффекты при их

Таблица 1
Биологическое действие компонентов пробиотических микроорганизмов, перспективных для применения в косметологической практике

Компонент	Пробиотический штамм	Биологическое действие	Источник
Живые пробиотики	<i>Levilactobacillus brevis</i>	Пребиотическое, антимикробное	Pratama, Jamsari & Melia, 2021
	<i>Lactiplantibacillus paraplantarum</i>	Антиоксидантное, антитирозидазное, противовоспалительное	Lim, Huang & Kyeong, 2022
		Антиоксидантное, антипигментационное, антивозрастное, противовоспалительное защитное	
	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Антипигментационное, регенерирующее (синтез проколлагена)	
	<i>Limosilactobacillus reuteri</i>	Антимикробное, улучшение индекса SCORAD у взрослых пациентов с АТД	Butler, Lundqvist & Axelsson, 2020
Лизаты пробиотических клеток	<i>Lactobacillus johnsonii</i>	Антимикробное, уменьшение проявления симптомов АТД	Shin et al., 2018
	<i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i>	Антиоксидантное, противовоспалительное защитное, увлажняющее, антиоксидантное	Cui et al., 2023
	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>		
	<i>Lactobacillus helveticus</i>		
	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Повышение синтеза коллагена в коже, антипигментационное	Tsai et al., 2021
Бесклеточные супернатанты	<i>Lacticaseibacillus paracasei</i>	Антимикробное, противовоспалительное при лечении акне и эритемы	Sathikulpakdee et al., 2022
Бактериоцины	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Антимикробное (бактерицидное, бактериостатическое)	Yan et al., 2019 Khalfallah et al., 2021 Bengtsson et al., 2020 Schofs, Sparo & Sánchez, 2020
Экзополисахариды	—	Противовоспалительное, антимикробное	Vinothkanna et al., 2022
Биосурфактанты	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Антибиопленочное, антимикробное	Yan et al., 2019
Внеклеточные везикулы		Иммуномодулирующее, противовоспалительное	Kim et al., 2020 Kim et al., 2018
Липотейхоевая кислота	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> ,	Увлажняющее, повышение эластичности кожи, антивозрастное	Catic et al., 2022
Гиалуроновая кислота	<i>Lacticaseibacillus casei</i>		
Молочная кислота			
Сфингомиелиназа			

применении следующие: пребиотическое, антимикробное, антиоксидантное, антиитрозилазное, противовоспалительное, антипигментационное, регенерирующее, антивозрастное, защитное, увлажняющее, антибиопленочное, иммуномодулирующее, повышение эластичности кожи. Для применения в косметической продукции целесообразно использовать следующие виды молочнокислых бактерий (*Lactobacillus* spp.) в качестве моноштаммов, многокомпонентных заквасок: *Lactiplantibacillus plantarum*, *Lacticaseibacillus rhamnosus*, *Limosilactobacillus fermentum*, *Lactiplantibacillus paraplantarum*.

Синергическое действие пробиотиков с биологически активными веществами растительного происхождения

Растительные экстракты содержат комплекс разнообразных по химическому строению БАВ, что делает их незаменимыми при лечении и профилактике акне, а также других воспалительных заболеваний кожи. БАВ обладают разнообразной биологической активностью, однако при лечении воспалительных заболеваний кожи наиболее ценны следующие эффекты: антибактериальный, противогрибковый, противовоспалительный, регенеративный, сосудосуживающий, защитный (в отношении барьера кожи), противозудный, отшелушивающий, подсушивающий, антипролиферативный (в отношении кератиноцитов), иммуносупрессивный, антиоксидантный, апоптотический, себосупрессивный.

При изучении многочисленных исследований, посвященных терапии АД, нами выделены экстракты лекарственных растений: Зверобоя продырявленного (лат. *Hypericum perforatum* (L.)), Солодки гладкой (лат. *Glycyrrhiza glabra* (L.)), Лапчатки прямостоячей (лат.

Potentilla erecta (L.)), Горечавки желтой (лат. *Gentiana lutea*) и Примулы вечерней (лат. *Oenothera biennis* (L.)), Экстракты Чайного дерева (лат. *Melaleuca alternifolia* (Maiden & Betcher) Cheel), неферментированного Зеленого чая (лат. *Camellia sinensis* (L.)), Хмеля обыкновенного (лат. *Humulus lupulus* (L.)), – которые обладают противовоспалительным и антимикробным действием, что предполагает их использование в терапии акне (Hoffmann et al, 2020; Маслова, Солдатова et al, 2018; Кужлева, Цветкова & Солдатова, 2017). Кроме того ферментация с участием пробиотических культур может менять химическую структуру растительного сырья путем его деградации под действием комплекса ферментов микроорганизмов в целях улучшения эпидермальной абсорбции и понижения их токсичности для достижения наилучшей фармакологической эффективности (Борисенко, & Солдатова, 2018; Вольнова & Солдатова, 2018). В частности, *Lactiplantibacillus plantarum* является одним из наиболее часто используемых видов в качестве стартера ферментации (Ruiz Rodriguez et al, 2021).

В то же время, разработка технологии комбинированной косметической формы с применением ферментированных живыми пробиотическими микроорганизмами экстрактов, имеет требование к проверке их совместимости с основными растительными группами БАВ для исключения антагонистического действия, в результате которого наступает гибель полезных для микробиома кожи микроорганизмов. Потенцирование фармакологического действия при местном применении отдельных групп БАВ уменьшает экономические затраты и исключает добавление синтетических веществ в случае синергического антимикробного действия, что позволяет получить натуральные косметические средства. В Таблице 2 представлены сведения о совместимости отдельных групп БАВ с пробиотическими штаммами (*Lactobacillus* spp.).

Таблица 2
Совместимость отдельных групп БАВ с пробиотическими штаммами (*Lactobacillus* spp.)

Сырье	Группа БАВ	Пробиотический штамм	Совместимость	Источник
<i>Humulus lupulus</i> (L.)	Эфирные масла (мирцен, мирценол, гумулен)	<i>Lactobacillus</i> spp.	Антагонизм (цитотоксическое действие)	Kolenc et al, 2022
<i>Agastache Rugosa</i> (Fisch. & CAMey.)	Комплекс БАВ	<i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i>	Синергизм (антиоксидантное действие)	Shin et al, 2018
<i>Rubus fruticosus</i> (B., FBB)	Комплекс БАВ (дубильные вещества, витамины (аскорбиновая кислота), флавоноиды)	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Синергизм (антиоксидантное действие)	Kim et al, 2019
<i>Cichorium</i> spp.	Дубильные вещества	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Синергизм (антиоксидантное действие)	Le Rouzic, Bruniaux & Raveschot, 2021 Leonard et al, 2021

Окончание Таблицы 2

Сырье	Группа БАВ	Пробиотический штамм	Совместимость	Источник
<i>Elaeagnus multiflora</i> (Thunb.)	Дубильные вещества, флаваноиды	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> <i>Lacticaseibacillus casei</i>	Синергизм (антиоксидантное действие)	Frediansyah et al, 2021 Lizardo et al, 2020
<i>Argania spinosa</i>	Полифенолы, сапонины, углеводы	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>	Синергизм (антиоксидантное действие)	Goto et al, 2019
<i>Curcuma longa</i>	Дубильные вещества – полифенолы	<i>Lactobacillus acidophilus</i> <i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i> <i>Lacticaseibacillus paracasei</i> <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> <i>Lacticaseibacillus casei</i> <i>Limosilactobacillus fermentum</i> <i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i>	Синергизм (антимикробное, противовоспалительное действие) Синергизм (пребиотическое действие)	Kim et al, 2020 Ghiamati Yazdi et al, 2019
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> (L.)	Органические кислоты Дубильные вещества	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i> <i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i>	Синергизм (антимикробное действие)	Bergentall et al, 2024 Forster et al, 2021

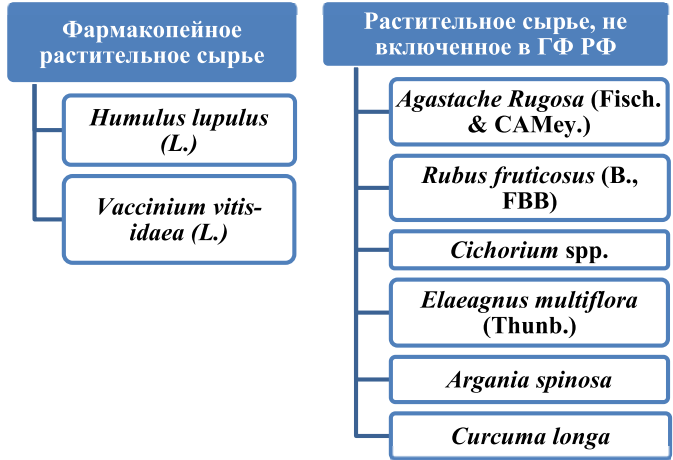
Таким образом, среди основных групп БАВ растительно-го сырья антагонистической активностью по отношению к пробиотическим культурам *Lactobacillus* spp. обладают только компоненты эфирных масел (мирцен, мирценол, гумулен). Поэтому сырье, содержащее эфирные масла в качестве основной действующей группы БАВ, не рекомендуется включать в состав косметической формы в комплексе с живыми пробиотиками. Группы БАВ, проявляющие синергическое действие с пробиотиками в жизнеспособном состоянии, представлены в основном дубильными веществами (полифенолами), а также витаминами, флавоноидами, сапонидами, углеводами, органическими кислотами. Данные Таблицы 2 указывают на широкое распространение *Lactiplantibacillus plantarum* в качестве вида микроорганизма, используемого для получения ферментированных экстрактов на основе растительного сырья, в том числе входящего в Государственную Фармакопею Российской Федерации (ГФ РФ) XIV издания⁸.

Среди лекарственного растительного сырья, указанного в научных публикациях в рамках ферментации пробиотическими штаммами, были выделены *Vaccinium vitis-idaea* (L.) и *Humulus lupulus* (L.) (Рисунок 3). Компоненты данного сырья хорошо изучены в рамках морфологии и фитохимического состава, что позволяет применять к ним стандартные фармакопейные методики для контроля качества в соответствии с частной фармакопейной статьей. Остальное растительное сырье относится к пищевому (дикорастущему и культивируемому), а многообразие групп БАВ, содержащихся в нем, говорит

о возможных перспективах расширения сферы их применения.

Среди ферментируемого *Lactobacillus* spp. фармакопейного сырья нами выделена Брусника обыкновенная (лат. *Vaccinium vitis-idaea* (L.)) и Толокнянка (лат. *Arctostaphylos uva-ursi* (L.)), содержащие дубильные вещества (полифенолы) в качестве основной группы БАВ. Сырье Брусники обыкновенной входит в состав различных аптечных сборов, обладающих, мочегонным, антимикробным, капилляроукрепляющим действием

Рисунок 3
Классификация сырья, подвергаемого ферментативной модификации с помощью пробиотических штаммов



⁸ Федеральная электронная медицинская библиотека. Министерство здравоохранения Российской Федерации. (2024). Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издание, том IV. <https://docs.rucml.ru/feml/pharma/v14/vol4/>

Таблица 3
Сравнение химического состава листьев *Vaccinium vitis-idaea* (L.) и *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) по содержанию арбутина

БАВ	Методика количественного определения	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> (L.)	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i> (L.)
Арбутин, % / источник	Высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ)	4,80±0,10÷4,97±0,11 Куркин et al, 2017	10,85±0,24÷11,16±0,35 Куркин et al, 2015
Арбутин, % (по данным ГФ РФ XIV издания)	Спектрофотометрия	Не менее 4,5	Не менее 6

(Сапарклычева & Чапалда, 2020). Листья Брусники обыкновенной и Толокнянки относятся к одному семейству (Вересковые; лат. *Ericaceae*), имеют одинаковый ареал произрастания и схожий химический состав (Таблица 3), на большую долю дубильных веществ (полифенолов) приходится арбутин, обладающий антисептическим, противовоспалительным и антипигментационным действием. Арбутин активно используется в качестве активного компонента для производства косметических средств. Концентрация арбутина преобладает в листьях Брусники и Толокнянки по сравнению с плодами и другими частями растения (Ширитова, 2021; Шакиров & Бердникова, 2020).

Таким образом, количественное содержание дубильных веществ и других групп БАВ в растительном сырье необходимо учитывать в рамках разработки технологии косметического средства для нормирования ингредиентов. Содержание арбутина по данным научных исследований в листьях Толокнянки обыкновенной в 2,3÷2,5 раз превышает его содержание в листьях Брусники обыкновенной, а по данным ГФ РФ XIV издания – в 1,3 раза. Подобная разница может быть связана с местом сбора, особенностями заготовки сырья, изменением срока годности, а также методикой выполнения количественного определения, что также должно учитываться при разработке рецептуры косметического средства.

Синергическое действие пробиотиков с биологически активными веществами минерального и синтетического происхождения

Развитие и степень проявления кожных заболеваний, в том числе акне, зависит от недостаточного поступления в организм человека витаминов и минеральных веществ. В качестве витаминов требуются терапевтические дозы аскорбиновой кислоты, холекальциферола, токоферолов, ретинолов, витаминов группы В (пиридоксина). Дефицит минеральных компонентов, в основном, связан с дефицитом селена и цинка (Podgorska et al, 2021). Введение в состав косметической формы веществ минерального и синтетического происхождения способствует их восполнению кожей, улучшению ее

биологических характеристик, а также восстановлению нормофлоры. Проанализировав отобранные источники нами выделены основные БАВ минерального и синтетического происхождения, их биологическое действие при местном применении, входящие в состав косметических средств. Результаты указаны в Таблице 4.

Местное применение витаминов, минералов, синтетических наночастиц, органических кислот, перекисей помогает восполнить недостаток БАВ, а также аддитировать защитные свойства кожи человека. Наиболее многочисленной группой по данным библиографии оказались

Таблица 4.
Особенности биологического действия БАВ минерального и синтетического происхождения при местном применении в составе косметических средств

БАВ	Биологическое действие	Источник
Соли цинка (II)	Себостатическое	Abendrot et al, 2021
Комплексы цинка (II) и аминокислот (глицина, гистидина)	Противомикробное	
Наночастицы оксида цинка	Противомикробное	Tan et al, 2023
Наночастицы золота и серебра	Противомикробное (при лечении акне), антиагезионное (в отношении <i>Cutibacterium acnes</i>)	De Canha et al, 2021 Artounian et al, 2021
Транексамовая кислота	Противовоспалительное, противомикробное, антипигментационное	Kim & Lim, 2023 Liu et al, 2020
Азелаиновая кислота		
Третиноин	Противовоспалительное (комплекс)	Kontzias, Zaino & Feldman, 2023
Пероксид бензоила		
Гиалуоновая кислота	Регенерирующее, антиоксидантное,	Gueniche et al, 2022
Ниацинамид	антипигментационное, противовоспалительное,	Berardesca et al, 2023
Токоферол	увлажняющее (комплекс)	

органические и неорганические соединения цинка (II), обладающие себостатическим и противомикробным действием. Цинка (II) сульфат обладает доказанными безопасностью и эффективностью в терапии АтД (Шавазы et al, 2020). Более того, цинка (II) сульфат гексагидрат с концентрацией 100 мМ обладает синергическим антиоксидантным действием с некоторыми штаммами вида *Lactiplantibacillus plantarum* (Kang et al, 2020). Таким образом при разработке инновационных косметических средств следует учитывать концентрацию минеральных и синтетических веществ, их совместимость с живыми пробиотическими микроорганизмами при разработке косметической формы.

Выбор косметической формы и ее состава для проведения исследования

На основе проведенного систематического обзора предметного поля выбраны примерные ингредиенты для разработки технологической блок-схемы косметического средства, направленного на профилактику и лечение воспалительных заболеваний кожи, в том числе АтД и акне (Рисунок 4). Добавление штамма *Saccharomyces cerevisiae* в состав косметического средства обусловлено высоким содержанием бета-глюкана в клеточной стенке, обладающего антиоксидантным (Yu et al, 2021; Маслова, Солдатов et al, 2018) и увлажняющим на кожу действием (Cao et al, 2021). Более того, исследования показывают возможность совместного культивирования *Lactiplantibacillus plantarum* и *Saccharomyces cerevisiae* (Liu et al, 2022; Каночкина, Вольнова & Бакаева, 2023).

Сыворотка в качестве косметической формы была выбрана по причине возможности высокого содержания

Рисунок 4
Ингредиенты, определенные для производства косметического средства

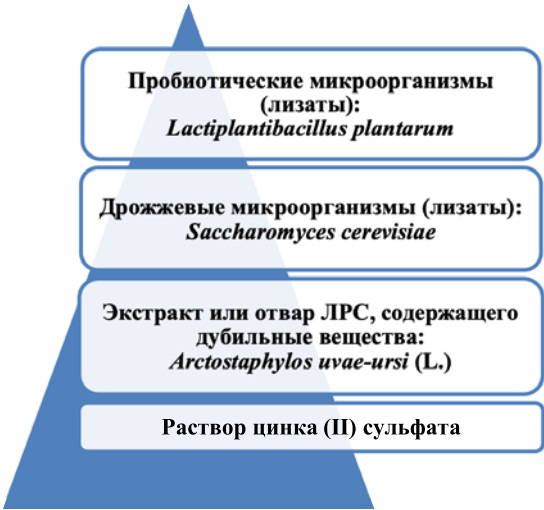
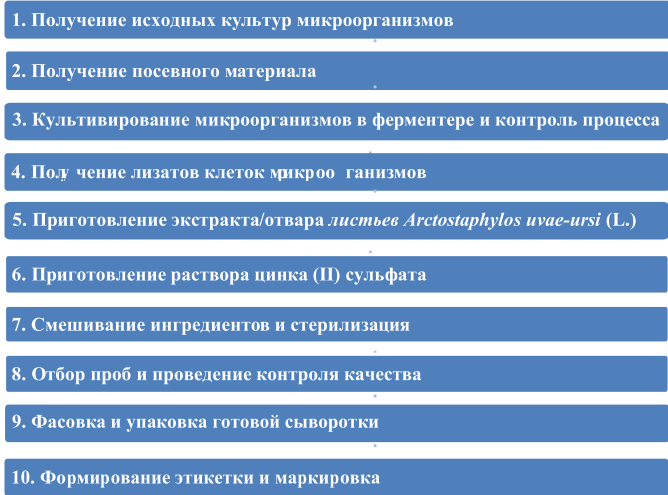


Рисунок 5
Технологическая блок-схема производства сыворотки для профилактики воспалительных заболеваний кожи на основе выбранных ингредиентов.



в ней комплекса БАВ в доступной форме, удобства применения и особенностей ее текстуры. Водянистая или текучая гелеобразная текстура снижает вероятность комедогенности, лучше абсорбируется кожей по сравнению с липофильными кремами или мазями, и восстанавливает защитный барьер (Пилипец, 2020).

Исходя из вышеизложенного была разработана технологическая блок-схема производства косметической сыворотки, представленная на Рисунке 5.

Технологическая блок-схема включает 10 стадий, некоторые из которых имеют вариативное исполнение и будут оптимизированы в процессе научных исследований:

- Получение исходных культур *Lactiplantibacillus plantarum* и *Saccharomyces cerevisiae* из коллекции микроорганизмов ФГБОУ ВО «РОСБИОТЕХ»;
- Получение посевного материала:
 - Маточной культуры, выращенной в колбе на чашках;
 - Посевной культуры, выращенной в инокуляторе;
 - Посевной культуры, выращенной в посевном аппарате;
- Культивирование микроорганизмов в ферментере и контроль над процессом;
- Получение лизатов клеток микроорганизмов одним или несколькими методами:
 - Ферментативный гидролиз;
 - Гомогенизация;
 - Сепарация (центрифугирование);
- Приготовление растительного экстракта/отвара листьев Толокнянки обыкновенной (лат. *Arctostaphylos uvae-ursi* (L.);

6. Приготовление раствора цинка (II) сульфата;
7. Смешивание ингредиентов и стерилизация готовой сыворотки в автоклаве;
8. Отбор проб и проведение контроля качества;
9. Фасовка и упаковка;
10. Формирование этикетки и маркировка.

Дальнейшие направления исследований включают: скрининг высокоактивных пробиотических штаммов, их клеточных компонентов, которые имеют доказанное профилактическое или терапевтическое действие в области воспалительных заболеваний кожи, в том числе АтД и акне, поэтапный подбор ингредиентов для разработки рецептуры, позволяющей использовать живые активные пробиотические микроорганизмы, разработка и детальный подбор косметической основы, поддерживающей пробиотические микроорганизмы в активном состоянии, разработка технологии производства и анализ особенностей хранения инновационных косметических средств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработка инновационных косметических форм является актуальной проблемой в настоящее время в связи с распространенностью воспалительных заболева-

ний кожи во всех возрастных группах, уходом с рынка РФ крупных производителей косметических средств, а также повышение их стоимости. Использование при производстве отечественного сырья перспективно для снижения экономических затрат на производство ПКП в условиях внешнего санкционного давления. Определены основные виды пробиотиков рода *Lactobacillus*, перспективные для использования в ПКП, и группы БАВ микробного, растительного, минерального или синтетического происхождения, обладающих синергическим действием. Сформулирован состав косметической формы, результаты критического обзора предметного поля свидетельствуют о совместимости подобранных компонентов сыворотки. Разработана технологическая блок-схема получения косметической сыворотки для профилактики и лечения кожных заболеваний.

ВКЛАД АВТОРОВ

Каночкина М.С.: руководство исследованием, создание рукописи и ее редактирование, концептуализация, методология. проведение исследования, ресурсы.

Гернет Д.М.: создание черновика рукописи, визуализация, формальный анализ проведение исследования, верификация данных.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреева, Е. Н., Шереметьева, Е. В., Григорян, О. Р., & Абсатарова, Ю. С. (2020). Акне — болезнь цивилизации. *Проблемы репродукции*, 1, 6–12. <http://dx.doi.org/10.17116/repro2020260116>.
- Andreeva, E.N., Shereme'eva, E.V., Grigorian, O.R., & Absatarova, Yu.S. (2020). Acne is a disease of civilization. *Russian Journal of Human Reproduction*, 26(1), 6–12. <https://doi.org/10.17116/repro2020260116> (In Russ.)
- Борисенко, Е. А., & Солдатова, С. Ю. (2018). Фармакологическое действие компонентов ромашки аптечной и ее использование в косметических средствах. В *Биотехнология и продукты биоорганического синтеза* (с. 135–140).
- Borisenko, E. A., & Soldatova, S. Yu. (2018). The pharmacological effect of the components of chamomile pharmacy and its use in cosmetics. In *Biotechnology and bioorganic synthesis products* (pp. 135–140). (In Russ.)
- Вольнова, Е. Р., & Солдатова, С. Ю. (2018). Экстракты зверобоя (hypericum) как активный компонент в составе косметических средств. В *Биотехнология и продукты биоорганического синтеза* (с. 155–160).
- Volnova, E. R., & Soldatova, S. Yu. (2018). Extracts of St. John's wort (hypericum) as an active ingredient in cosmetics. In *Biotechnology and bioorganic synthesis products* (pp. 155–160). (In Russ.)
- Каночкина, М. С., Вольнова, Е. Р., & Бакаева, К. В. (2023). Методы коррекции микробиома кожи и предотвращения бактериальных заболеваний с использованием косметических средств на основе пробиотиков (систематический обзор предметного поля). *Health, Food & Biotechnology*, 5(4), 38–52. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i4.s180>
- Kanochkina, M. S., Volnova, E. R., & Bakaeva, K. V. (2023). Methods for correcting the skin microbiome and preventing bacterial diseases using cosmetic products based on probiotics (Systematic scoping review). *Health, Food & Biotechnology*, 5(4), 38–52. <https://doi.org/10.36107/hfb.2023.i4.s180> (In Russ.)
- Колодяжная, Д. И., & Кафтулина, Ю. А. (2020). Компаративный анализ правового регулирования косметической индустрии в ЕС и США. Экономика и бизнес: теория и практика, (9–1), 151–154. <http://dx.doi.org/10.24411/2411-0450-2020-10710>
- Kolodyazhnaya, D. I., & Kaftulina, Yu. A. (2020). Comparative analysis of the legal regulation of the cosmetics industry in

- the EU and the USA. *Economics and Business: Theory and Practice*, (9–1), 151–154. <http://dx.doi.org/10.24411/2411-0450-2020-10710> (In Russ.)
- Кубанов, А. А., & Богданова, Е. В. (2022). Результаты деятельности медицинских организаций, оказывающих медицинскую помощь по профилю «дерматовенерология», в 2019–2021 гг. в Российской Федерации. *Вестник дерматологии и венерологии*, (5), 18–33. <http://dx.doi.org/10.25208/vdv1337>
- Kubanov, A. A., & Bogdanova E. V. (2022). Performance results of medical organizations providing medical care in the field of dermatovenereology in 2019–2021 in the Russian Federation. *Vestnik Dermatologii i Venerologii*, (5), 18–33. <http://dx.doi.org/10.25208/vdv1337> (In Russ.)
- Кужлева, А. А., Цветкова, Ю. А., & Солдатова, С. Ю. (2017). Получение экстрактов растительного сырья с антиоксидантными свойствами. В *Наука и образование: исследования молодых ученых* (с. 45–48).
- Kuzhleva, A. A., Tsvetkova, Yu. A., & Soldatova, S. Yu. (2017). Obtaining extracts of plant raw materials with antioxidant properties. In *Science and Education: research by young scientists* (pp. 45–48). (In Russ.)
- Кузякова, Л. М., Глизова, Т. Н., & Айро, И. Н. (2019). О некоторых правовых аспектах оборота косметики лечебно-профилактического действия на фармацевтическом рынке. *Инновации и инвестиции*, (8), 2183–189.
- Kuzyakova, L. M., Glizhova, T. N., & Ayro, I. N. (2019). On some legal aspects of the turnover of therapeutic and preventive cosmetics in the pharmaceutical market. *Innovation and Investment*, (8), 2183–189. (In Russ.)
- Куркин, В. А., Рязанова, Т. К., Платонов, И. А., & Павлова, Л. В. (2015). Количественное определение арбутина в листьях Толочнянки обыкновенной. *Химия растительного сырья*, (1), 95–100.
- Kurkin, V. A., Ryazanova, T. K., Platonov, I. A., & Pavlova, L. V. (2015). Quantitative determination of arbutin in the leaves of bearberry. *Khimija Rastitel'nogo Syr'ja* (Chemistry of Plant Raw Material), (1), 95–100. (In Russ.)
- Куркин, В. А., Рязанова, Т. К., Платонов, И. А., & Павлова, Л. В. (2017). Определение арбутина в листьях Брусники обыкновенной. *Химико-фармацевтический журнал*, 51, 34–37.
- Kurkin, V. A., Ryazanova, T. K., Platonov, I. A., & Pavlova, L. V. (2017). Determination of arbutin in the leaves of cranberries. *Chemical and Pharmaceutical Journal*, 51, 34–37. (In Russ.)
- Маслова, Т. А., Подольская, Ю. М., Борисенко, Е. Г., Солдатова, С. Ю., & Лаптева, Е. А. (2018). Дрожжевые изоляты для прямой биоконверсии целлюлозосодержащего сырья. В *Биотехнология и продукты биоорганического синтеза* (с. 227–231).
- Maslova, T. A., Podolskaya, Y. M., Borisenko, E. G., Soldatova, S. Yu., & Lapteva, E. A. (2018). Yeast isolates for direct bioconversion of cellulose-containing raw materials. In *Biotechnology and bioorganic synthesis products* (pp. 227–231). (In Russ.)
- Пилипец, А. С. (2020). Перспективы производства сыворотки для лица с пробиотиками для людей с atopическим дерматитом. В *Образование в России и актуальные вопросы современной науки: материалы II Всероссийской научно-практической конференции* (с. 300–304).
- Pilipets, A. S. (2020). Prospects for the production of facial serum with probiotics for people with atopic dermatitis. In *Education in Russia and current issues of modern science: materials of the II All-Russian Scientific and Practical Conference* (pp. 300–304). (In Russ.)
- Сапарклычева, С. Е., & Чапалда, Т. Л. (2020). Бактерицидные свойства Брусники обыкновенной (*Vaccinium vitis-idaea* L.). *Аграрное образование и наука*, (1), 11.
- Saparklycheva, S. E., & Chapalda, T. L. (2020). Bactericidal properties of cranberries (*Vaccinium vitis-idaea* L.). *Agrarian Education and Science*, (1), 11. (In Russ.)
- Суекина, Н. Г. (2023). Инструменты для создания нового продукта в условиях импортозамещения на косметическом рынке. *Практический маркетинг*, (5), 35–39. <http://dx.doi.org/10.24412/2071-3762-2023-5311-35-39>
- Suetina, N. G. (2023). Tools for creating a new product in the context of import substitution in the cosmetics market. *Practical Marketing (Prakticheskiy marketing)*, (5), 35–39. <http://dx.doi.org/10.24412/2071-3762-2023-5311-35-39> (In Russ.)
- Шавази, Н. М., Рустамов, М. Р., Лим, М. В., Мамаризаев, И. К., & Абдукодирова, Ш. Б. (2020). Эффективность наружного применения сульфата цинка в базисной терапии atopического дерматита у детей. *Достижения науки и образования*, 15(69), 54–56.
- Shavazi, N. M., Rustamov, M. R., Lim, M. V., Mamarizaev, I. K., & Abdukodirova, S. B. (2020). The effectiveness of the external use of zinc sulfate in the basic therapy of atopic dermatitis in children. *Achievements of Science and Education*, 15(69), 54–56. (In Russ.)
- Шакиров, М. И., & Бердникова, Х. И. (2020). Количественное определение биохимического состава листьев *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. *Студенческая наука и XXI век*, 1–1(19), 227–228.
- Shakirov, M. I., & Berdnikova H.I. (2020). Quantitative determination of the biochemical composition of the leaves of *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng. *Student Science and the 21st century*, 1–1(19), 227–228. (In Russ.)
- Ширитова, Л. Ж. (2021). Брусника кавказская — источник биологически активных веществ. *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*, 4(34), 66–71.
- Shiritova, L. J. (2021). Lingonberry Caucasian — a source of biologically active substances. *Izvestiya Kabardino-Balkarian*

- State Agrarian University named after V. M. Kokov, 4(34), 66–71. (In Russ.)
- Abendrot, M., Płuciennik, E., Felczak, A., Zawadzka, K., Piątczak, E., Nowaczyk, P., & Kalinowska-Lis, U. (2021). Zinc (II) Complexes of amino acids as new active ingredients for anti-acne dermatological preparations. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(4), 1641. <https://dx.doi.org/10.3390/ijms22041641>
- Almukainzi, M., Alotaibi, L., & Abdulwahab, A. (2022). Quality and safety investigation of commonly used topical cosmetic preparations. *Scientific Reports*, 12, 18299. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-21771-7>
- Artounian, K., Bundogji, N., Hoss, E., & Boen, M. (2021). Applications of gold and silver nanoparticles in the treatment of acne vulgaris: A systematic review. *Journal of Drugs in Dermatology : JDD*, 20(6), 666–670. <https://dx.doi.org/10.36849/JDD.2021.5762>
- Bengtsson, T., Selegård, R., Musa, A., Hultenby, K., Utterström, J., Sivilér, P., Skog, M., Nayeri, F., Hellmark, B., Söderquist, B., Aili, D., & Khalaf, H. (2020). Plantaricin NC8 αβ exerts potent antimicrobial activity against *Staphylococcus* spp. and enhances the effects of antibiotics. *Scientific reports*, 10(1), 3580. <https://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-60570-w>
- Berardesca, E., Bonfigli, A., Cartigliani, C., Kerob, D., & Tan, J. (2023). A randomized, controlled clinical trial of a dermocosmetic containing Vichy volcanic mineralizing water and probiotic fractions in subjects with rosacea associated with erythema and sensitive skin and wearing protective masks. *Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology*, 16, 71–77. <https://dx.doi.org/10.2147/CCID.S391893>
- Bergentall, M. K., Niimi, J., Persson, I., Calmet, E., & As, D. (2024). Malolactic fermentation in lingonberry juice and its use as a preservative. *Food Microbiology*, 121, 104500. <https://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2024.104500>
- Butler, E., Lundqvist, C., & Axelsson, J. (2020). *Lactobacillus reuteri* DSM 17938 as a novel topical cosmetic ingredient: a proof of concept clinical study in adults with atopic dermatitis. *Microorganisms*, 8(7), 1026. <https://dx.doi.org/10.3390/microorganisms8071026>
- Cao, Y., Wang, P., Zhang, G., Hu, C., Zhang, H., & Wang, X. (2021). Administration of skin care regimens containing β-glucan for skin recovery after fractional laser therapy: A split-face, double-blinded, vehicle-controlled study. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 20(6), 1756–1762. <https://dx.doi.org/10.1111/jocd.13798>
- Catic, T., Pehlivanovic, B., Pljakic, N., & Balicevac, A. (2022). The moisturizing efficacy of a proprietary dermo-cosmetic product (CLS02021) Versus Placebo in a 4-week Application Period. *Medical Archives (Sarajevo, Bosnia and Herzegovina)*, 76(2), 108–114. <https://dx.doi.org/10.5455/medarh.2022.76.108-114>
- Chilicka, K., Dziendziora-Urbinska, I., Szygula, R., Asanova, B., & Nowicka, D. (2022). Microbiome and probiotics in acne vulgaris-A narrative review. *Life*, 12(3), 422. <https://dx.doi.org/10.3390/life12030422>
- Cui, H., Feng, C., Zhang, T., Martínez-Rios, V., Martorell, P., Tortajada, M., Cheng, S., Cheng, S., & Duan, Z. (2023). Effects of a lotion containing probiotic ferment lysate as the main functional ingredient on enhancing skin barrier: a randomized, self-control study. *Scientific Reports*, 13(1), 16879. <https://dx.doi.org/10.1038/s41598-023-43336-y>
- De Canha, M. N., Thipe, V. C., Katti, K. V., Mandiwana, V., Kalombo, M. L., Ray, S. S., Rikhotso, R., Janse van Vuuren, A., & Lall, N. (2021). The activity of gold nanoparticles synthesized using *Helichrysum odoratissimum* against cutibacterium acnes biofilms. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 9, 675064. <https://dx.doi.org/10.3389/fcell.2021.675064>
- Forster, C. S., Hsieh, M. H., Perez-Losada, M., Caldovic, L., Pohl, H., Ljungberg, I., Sprague, B., Stroud, C., & Groah, S. (2021). A single intravesical instillation of *Lactobacillus rhamnosus* GG is safe in children and adults with neuropathic bladder: A phase Ia clinical trial. *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 44(1), 62–69. <https://doi.org/10.1080/10790268.2019.1616456>
- Frediansyah, A., Romadhoni, F., Suryani, Nurhayati, R., & Wibowo, A. T. (2021). Fermentation of Jamaican cherries juice using *Lactobacillus plantarum* elevates antioxidant potential and inhibitory activity against Type II diabetes-related enzymes. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(10), 2868. <https://dx.doi.org/10.3390/molecules26102868>
- Gandhi, N. A., Pirozzi, G., & Graham, N. M. (2017). Commonality of the IL-4/IL-13 pathway in atopic diseases. *Expert Review of Clinical Immunology*, 13(5), 425–437. <http://dx.doi.org/10.1080/1744666X.2017.1298443>
- Ghiamati Yazdi, F., Soleimani-Zad, S., van den Worm, E., & Folkerts, G. (2019). Turmeric extract: Potential use as a prebiotic and anti-inflammatory compound?. *Plant Foods for Human Nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 74(3), 293–299. <https://dx.doi.org/10.1007/s11130-019-00733-x>
- Goto, M., Kuda, T., Shikano, A., Charrouf, Z., Yamauchi, K., Yokozawa, M., & Kimura, B. (2019). Induction of superoxide anion radical-scavenging capacity in an argan press cake-suspension by fermentation using *Lactobacillus plantarum* Argan-L1. *LWT*, 100, 56–61. <https://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.033>
- Gueniche, A., Valois, A., Salomao Calixto, L., Sanchez Hevia, O., Labatut, F., Kerob, D., & Nielsen, M. (2022). A dermocosmetic formulation containing Vichy volcanic mineralizing water, *Vitreoscilla filiformis* extract, niacinamide, hyaluronic acid, and vitamin E regenerates and repairs acutely stressed skin. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology : JEADV*, 36(2), 26–34. <https://dx.doi.org/10.1111/jdv.17785>
- Habeebuddin, M., Karnati, R. K., & Shiroorkar, P. N. (2022). Topical probiotics: More than a skin deep. *Pharmaceutics*, 14(3), 557. <http://dx.doi.org/10.3390/pharmaceutics14030557>
- He, J., & Jia, Y. (2022). Application of omics technologies in dermatological research and skin management. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 21(2), 451–460. <http://dx.doi.org/10.1111/jocd.14100>

- Hoffmann, J., Gendrisch, F., Schempp, C. M., & Wölflle, U. (2020). New herbal biomedicines for the topical treatment of dermatological disorders. *Biomedicines*, 8(2), 27. <https://dx.doi.org/10.3390/biomedicines8020027>
- Kang, S., Li, R., Jin, H., You, H. J., & Ji, G. E. (2020). Effects of selenium- and zinc-enriched *Lactobacillus plantarum* SeZi on antioxidant capacities and gut microbiome in an ICR mouse model. *Antioxidants (Basel, Switzerland)*, 9(10), 1028. <https://dx.doi.org/10.3390/antiox9101028>
- Khalfallah, G., Gartzén, R., Möller, M., Heine, E., & Lütticken, R. (2021). A new approach to harness probiotics against common bacterial skin pathogens: Towards living antimicrobials. *Probiotics and Antimicrobial Proteins*, 13(6), 1557–1571. <https://dx.doi.org/10.1007/s12602-021-09783-7>
- Kim, H. R., Jeong, D. H., Kim, S., Lee, S. W., Sin, H. S., Yu, K. Y., Jeong, S. I., & Kim, S. Y. (2019). Fermentation of blackberry with *L. plantarum* JBMI F5 enhance the protection effect on UVB-Mediated photoaging in human foreskin fibroblast and hairless mice through regulation of MAPK/NF-κB signaling. *Nutrients*, 11(10), 2429. <https://dx.doi.org/10.3390/nu11102429>
- Kim, H. W., Seok, Y.S., & Cho, T.J. (2020). Risk factors influencing contamination of customized cosmetics made on-the-spot: Evidence from the national pilot project for public health. *Scientific Reports*, 10(1), 1561. <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-020-57978-9>
- Kim, J., Kim, H., Jeon, S., Jo, J., Kim, Y., & Kim, H. (2020). Synergistic antibacterial effects of probiotic lactic acid bacteria with *Curcuma longa* rhizome extract as synbiotic against *Cutibacterium acnes*. *Applied Sciences*, 10(24), 8955. <https://dx.doi.org/10.3390/app10248955>
- Kim, K. M., & Lim, H. W. (2023). The uses of tranexamic acid in dermatology: a review. *International Journal of Dermatology*, 62(5), 589–598. <https://dx.doi.org/10.1111/ijd.16160>
- Kim, M. H., Choi, S. J., Choi, H. I., Choi, J. P., Park, H. K., Kim, E. K., Kim, M. J., Moon, B. S., Min, T. K., Rho, M., Cho, Y. J., Yang, S., Kim, Y. K., Kim, Y. Y., & Pyun, B. Y. (2018). *Lactobacillus plantarum*-derived extracellular vesicles protect atopic dermatitis induced by *Staphylococcus aureus*-derived extracellular vesicles. *Allergy, Asthma & Immunology Research*, 10(5), 516–532. <https://dx.doi.org/10.4168/aaair.2018.10.5.516>
- Kim, W., Lee, E. J., Bae, I. H., Myoung, K., Kim, S. T., Park, P. J., Lee, K. H., Pham, A. V. Q., Ko, J., Oh, S. H., & Cho, E. G. (2020). *Lactobacillus plantarum*-derived extracellular vesicles induce anti-inflammatory M2 macrophage polarization in vitro. *Journal of Extracellular Vesicles*, 9(1), 1793514. <https://dx.doi.org/10.1080/20013078.2020.1793514>
- Kolenc, Z., Langerholc, T., Hostnik, G., Ocvirk, M., Stumpf, S., Pintaric, M., Kosir, I. J., Cerenak, A., Garmut, A., & Bren, U. (2022). Antimicrobial properties of different hop (*Humulus lupulus*) genotypes. *Plants (Basel, Switzerland)*, 12(1), 120. <https://dx.doi.org/10.3390/plants12010120>
- Kontzias, C., Zaino, M., & Feldman, S. R. (2023). Tretinoin 0.1 % and Benzoyl Peroxide 3 % cream for the treatment of facial acne vulgaris. *The Annals of Pharmacotherapy*, 57(9), 1088–1093. <https://dx.doi.org/10.1177/10600280221147338>
- Le Rouzic, M., Bruniaux, P., & Raveschot, C. (2021). *Lactobacillus* use for plant fermentation: New ways for plant-based product valorization. *Lactobacillus — A Multifunctional Genus*, 2, 104958. <https://dx.doi.org/10.5772/intechopen.104958>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., Adhikari, B., & Fang, Z. (2021). Fermentation transforms the phenolic profiles and bioactivities of plant-based foods. *Biotechnology Advances*, 49, 107763. <https://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2021.107763>
- Lim, H. W., Huang, Y. H., & Kyeong, G. (2022). Comparative insights into the skin beneficial properties of probiotic lactobacillus isolates of skin origin. *BioMed Research International*, 7728789. <https://dx.doi.org/10.1155/2022/7728789>
- Liu, H., Yu, H., Xia, J., Liu, L., Liu, G. J., Sang, H., & Peinemann, F. (2020). Topical azelaic acid, salicylic acid, nicotinamide, sulphur, zinc and fruit acid (alpha-hydroxy acid) for acne. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, 5(5), CD011368. <https://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD011368.pub2>
- Liu, J., Huang, T. Y., Liu, G., Ye, Y., Soteyome, T., Seneviratne, G., Xiao, G., Xu, Z., & Kjellerup, B. V. (2022). Microbial Interaction between *Lactiplantibacillus plantarum* and *Saccharomyces cerevisiae*: Transcriptome level mechanism of cell-cell antagonism. *Microbiology Spectrum*, 10(5), e0143322. <https://dx.doi.org/10.1128/spectrum.01433-22>
- Lizardo, R. C. M., Cho, H. D., Won, Y. S., & Seo, K. I. (2020). Fermentation with mono- and mixed cultures of *Lactobacillus plantarum* and *L. casei* enhances the phytochemical content and biological activities of cherry silverberry (*Elaeagnus multiflora* Thunb.) fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100(9), 3687–3696. <https://dx.doi.org/10.1002/jsfa.10404>
- Osborne, D. W., Tan, P. I., & Varma, Y. (2018). Formulating topical products containing live microorganisms as the active ingredient. *Pharmaceutical Technology*, 42(3), 32–36.
- Podgorska, A., Puscion-Jakubik, A., Markiewicz-Zukowska, R., Gromkowska-Kepka, K. J., & Socha, K. (2021). Acne vulgaris and intake of selected dietary nutrients-A summary of information. *Healthcare (Basel, Switzerland)*, 9(6), 668. <https://dx.doi.org/10.3390/healthcare9060668>
- Pratama, Y. E., Jamsari, A., & Melia, S. (2021). Characteristic and quality microbiology solid soap citronella oil with the addition of *Lactobacillus brevis*. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 694(1), 12075. <https://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/694/1/012075>
- Puebla-Barragan, S. & Reid, G. (2021). Probiotics in cosmetic and personal care products: Trends and challenges. *Molecules*, 5, 1249. <http://dx.doi.org/10.3390/molecules26051249>
- Ruiz Rodriguez, L. G., Zamora Gasga, V. M., Pescuma, M., Van Nieuwenhove, C., Mozzi, F., & Sanchez Burgos, J. A. (2021). Fruits and fruit by-products as sources of bioactive compounds. Benefits and trends of lactic acid fermentation in the development of novel fruit-based functional beverages. *Food*

- Research International (Ottawa, Ont.)*, 140, 109854. <https://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109854>
- Sathikulpakdee, S., Kanokrungrsee, S., Vitheejongjaroen, P., Kamanamool, N., Udompataikul, M., & Taweechoitipatr, M. (2022). Efficacy of probiotic-derived lotion from *Lactobacillus paracasei* MSMC 39-1 in mild to moderate acne vulgaris, randomized controlled trial. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 21(10), 5092–5097. <https://dx.doi.org/10.1111/jocd.14971>.
- Schofs, L., Sparo, M. D., & Sánchez Bruni, S. F. (2020). Gram-positive bacteriocins: usage as antimicrobial agents in veterinary medicine. *Veterinary Research Communications*, 44(3–4), 89–100. <https://dx.doi.org/10.1007/s11259-020-09776-x>
- Shin, D., Lee, Y., Huang, Y. H., Lim, H. W., Jang, K., Kim, D. D., & Lim, C. J. (2018). Probiotic fermentation augments the skin anti-photoaging properties of *Agastache rugosa* through up-regulating antioxidant components in UV-B-irradiated HaCaT keratinocytes. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 18(1), 196. <https://dx.doi.org/10.1186/s12906-018-2194-9>
- Tan, Y. Y., Wong, L. S., Nyam, K. L., Wittayanarakul, K., Zawawi, N. A., Rajendran, K., Djearamane, S., & Dhanapal, A. C. T. A. (2023). Development and evaluation of topical zinc oxide nanogels formulation using *Dendrobium anosmum* and its effect on acne vulgaris. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 28(19), 6749. <https://dx.doi.org/10.3390/molecules28196749>
- Tsai, W. H., Chou, C. H., Chiang, Y. J., Lin, C. G., & Lee, C. H. (2021). Regulatory effects of *Lactobacillus plantarum*-GMNL6 on human skin health by improving skin microbiome. *International Journal of Medical Sciences*, 18(5), 1114–1120. <https://dx.doi.org/10.7150/ijms.51545>
- Vinothkanna, A., Sathiyarayanan, G., Rai, A. K., Mathivanan, K., Saravanan, K., Sudharsan, K., Kalimuthu, P., Ma, Y., & Sekar, S. (2022). Exopolysaccharide produced by probiotic *Bacillus albus* DM-15 isolated from ayurvedic fermented dasamoolarishta: Characterization, antioxidant, and anticancer activities. *Frontiers in Microbiology*, 13, 832109. <https://dx.doi.org/10.3389/fmicb.2022.832109>
- Yan, X., Gu, S., Cui, X., Shi, Y., Wen, S., Chen, H., & Ge, J. (2019). Antimicrobial, anti-adhesive and anti-biofilm potential of biosurfactants isolated from *Pediococcus acidilactici* and *Lactobacillus plantarum* against *Staphylococcus aureus* CMCC26003. *Microbial Pathogenesis*, 127, 12–20. <https://dx.doi.org/10.1016/j.micpath.2018.11.039>
- Yu, C., Chen, H., Du, D., Lv, W., Li, S., Li, D., Xu, Z., Gao, M., Hu, H., & Liu, D. (2021). β -Glucan from *Saccharomyces cerevisiae* alleviates oxidative stress in LPS-stimulated RAW264.7 cells via Dectin-1/Nrf2/HO-1 signaling pathway. *Cell Stress & Chaperones*, 26(4), 629–637. <https://dx.doi.org/10.1007/s12192-021-01205-5>
- Zawistowska-Rojek, A., Zareba, T., & Tyski, S. (2022). Microbiological testing of probiotic preparations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(9), 5701. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph19095701>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s211>

Разработка биоразлагаемых активных материалов на основе полилактида, бактериальной наноцеллюлозы и растительных экстрактов

П.В. Шабанова, А.В. Абаева

Самарский государственный
технический университет, Самара,
Россия

Корреспонденция:

Шабанова Полина Васильевна,
Самарский государственный
технический университет,
443010, Россия, Самара,
ул. Галякционовская, д. 141
E-mail: shabanovapy@mail.ru

Конфликт интересов:

авторы сообщают об отсутствии
конфликта интересов.

Поступила: 24.04.2024

Поступила после
рецензирования: 11.08.2024

Принята: 16.08.2024

Copyright: © 2024 Авторы

АННОТАЦИЯ

Введение. Одной из перспективных областей, где могут быть применены пищевые отходы, является производство активной упаковки для пищевых продуктов. На научных форумах происходит активный поиск модернизации известных биоматериалов с помощью полученных активных компонентов из вторичного сырья с высокой антиокислительной способностью.

Цель. Разработка активной упаковочной пленки из биополимера с введением в неё растительного антиокислительного агента в композите с бактериальной наноцеллюлозой, определение физико-химических, антиокислительных свойств полученного биополимерного материала.

Материалы и методы. Объектами исследования являлись: растительный экстракт, получаемый из пищевых отходов (шелуха луковицы) чеснока *Allium sativum*, выращенного на территории Самарской области и собранного в период начала по конец сентября 2023 года; растительный экстракт, получаемый из жмыха бархатцев *Tagetes erecta*, выращенных на территории Самарской области и собранных в период начала по конец сентября 2023 года; растительный экстракт, получаемый из жмыха ягод барбариса *Berberis vulgaris*; растительный экстракт, получаемый из зеленого чая *Camellia sinensis*, собранного в провинции Фуцзянь; растительный экстракт, получаемый из семян горчицы *Sinapis alba*; бактериальная наноцеллюлоза, предоставленная ИПХЭТ СО РАН, гранулы PLA торговой марки Bestfilament, ИП Берчук Д.Ю, Россия. В качестве пластификатора были выбраны: полисорбат ТВИН-80, глицерин.

Результаты. Результаты исследования показывают, что введение бактериальной наноцеллюлозы в исследуемые объекты увеличивает срок действия антиоксидантов. Установлено, что паропроницаемость образцов с глицеринов выше по сравнению с образцами с добавлением Твин-80. Значения степени набухаемости варьируются в зависимости от введенного активного компонента.

Выводы. Полученные данные можно применить в производстве упаковочных материалов для пищевой промышленности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

бактериальная наноцеллюлоза, полилактид, растительный экстракт, антиоксидантная активность.



Для цитирования: Шабанова, П. В., & Абаева, А. В. (2024). Разработка биоразлагаемых активных материалов на основе полилактида, бактериальной наноцеллюлозы и растительных экстрактов. *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 58–67. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s211>

<https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s211>

Development of Biodegradable Active Materials Based on Polylactide, Nanobacterial Cellulose and Plant Extracts

Polina V. Shabanova, Anna V. Abaeva

Samara State Technical University, Samara,
Russia

Correspondence:

Polina V. Shabanova,
Samara State Technical University,
141, Galaktionovskaya st.,
Samara, 443010, Russia
E-mail: shabanovapv@mail.ru

Declaration of competing interest:
none declared.

Received: 24.04.2024

Received in revised form: 11.08.2024

Accepted: 16.08.2024

Copyright: © 2024 The Authors

ABSTRACT

Introduction. One of the promising areas where food waste can be applied is the production of active food packaging. At scientific forums, there is an active search for the modernization of known biomaterials using the obtained active components from secondary raw materials with high antioxidant capacity.

Purpose. Development of an active packaging film made of a biopolymer with the introduction of a plant antioxidant agent in a composite with bacterial nanocellulose, determination of the physico-chemical, antioxidant properties of the resulting biopolymer material.

Materials and Methods. The objects of the study were: a plant extract obtained from food waste (husk) of garlic *Allium sativum* grown in the Samara region and collected from the beginning to the end of September 2023; a plant extract obtained from the cake of marigolds *Tagetes erecta* grown in the Samara region and collected from the beginning to the end of September 2023; vegetable extract obtained from the cake of barberry berries *Berberis vulgaris*; vegetable extract obtained from *Camellia sinensis* green tea collected in Fujian Province; plant extract obtained from *Sinapis alba* mustard seeds; bacterial nanocellulose provided by IPCET SB RAS, Bestfilament PLA granules, IE Berchuk D. Yu., Russia. As a plasticizer, the following were selected: TWIN-80 polysorbate, glycerin.

Results. The results of the study show that the introduction of bacterial nanocellulose into the studied objects increases the life of antioxidants. It was found that the vapor permeability of glycerin samples is higher compared to samples with the addition of Twin-80. The swelling values vary depending on the active component introduced.

Conclusions. The obtained data can be applied in the production of packaging materials for food processing..

KEYWORDS

bacterial nanocellulose, polylactide, plant extract, antioxidant activity



To cite: Shabanova, P. V., & Abaeva, A.V. (2024). Development of biodegradable active materials based on polylactide, nanobacterial cellulose and plant extracts. *Health, Food & Biotechnology*, 6(2), 58–67. <https://doi.org/10.36107/hfb.2024.i2.s211>

ВВЕДЕНИЕ

В современных научных исследованиях проявляется интерес к разработке биоразлагаемых упаковок, обладающих дополнительными свойствами, такими как антиокислительные, антибактериальные и антигрибковые эффекты. Создаваемые упаковки должны соответствовать всем механическим и санитарным стандартам, при этом не нанося вреда окружающей среде, чтобы служить заменой обычным пластиковым изделиям на основе нефти. Вопрос рационального использования вторичных ресурсов, включая растительные пищевые отходы, порождаемые, в частности, сельским хозяйством, остается актуальным. Растущая производительность промышленных отраслей является одним из ключевых факторов, способствующих загрязнению и негативно влияющим на современную экологическую ситуацию.

Одной из перспективных областей, где могут быть применены переработанные растительные пищевые отходы является производство активной упаковки для пищевых продуктов. Пленки на основе биополимеров обеспечивают барьер между внешней и внутренней упаковкой для поддержания качества пищевых продуктов (Menezes et al., 2019). Биополимерные пленки могут выступать в качестве носителей активных ингредиентов, таких как антимикробные и антиоксидантные агенты (Arfat et al., 2014; Kirsh et al., 2020a).

Необходимость снижения количества процентной массы пластмассы в пищевой индустрии приводит к поиску новых экологических материалов растительного или животного происхождения. В настоящее время появляются научные разработки активных пленок для пищевой продукции, в составе которых в качестве основного материала или активного агента выступают растительные отходы (Бадретдинова, и соавт., 2023; Еремеева, Макарова & Елисева, 2019; Kirsh et al., 2020b).

В исследованиях часто фигурирует способ создания пленок на основе биоразлагаемого сырья: хитозан (Nxumalo, et al., 2023; Wrońska, et al., 2023), желатин (Nurdiani, et al., 2022; Hu, et al., 2019), крахмал (Kumari, et al., 2023; Frangopoulos, et al., 2023), альгинат (Eslami, et al., 2023; Zinina, et al., 2023.), полилактид (Альхаир А., и др., 2023; Ja'skiewicz, et al., 2022)

Полимолочная кислота (PLA) — биоразлагаемый, биосовместимый, простой в обработке полимер, набирающий популярность в качестве замены обычных пластмасс в различных отраслях промышленности. Среди различных биоразлагаемых полимеров на основе полиэфиров полилактид или полимолочная кислота (PLA) является одним из наиболее важных биоразлагаемых полимеров на основе возобновляемых источников, поскольку

он поддается адаптации, термопластичен, биоразлагаем, биосовместим и обладает отличными механическими качествами, превосходной обрабатываемостью, оптической прозрачностью и низкой стоимостью. Производится с помощью технологии ферментирования из возобновляемых ресурсов, таких как сахарное сырье или кукурузный крахмал (Hussain et al., 2024). Однако PLA имеет внутренние ограничения и требует модификаций для повышения его характеристик.

Бактериальная наноцеллюлоза — наиболее перспективный материал для технической химии. Бактериальная наноцеллюлоза — это линейный полисахарид, состоящий из мономеров глюкозы, связанных между собой в результате реакций конденсационной полимеризации длинных цепей ангидро-глюкозных звеньев — 1,4-гликозидной связью. По сравнению с растительной целлюлозой бактериальная наноцеллюлоза представляет собой относительно чистую форму целлюлозы, обладающую определенными уникальными и превосходными структурными, физико-химическими и механическими свойствами, например, способностью впитывать воду до 90 % на 1 г бактериальной наноцеллюлозы, и меньшим размером микрофибрилл в отличие от своего растительного аналога (Mishra et al., 2022). Использование бактериальной наноцеллюлозы перспективно в разработке активной упаковки в качестве матрицы для антиоксидантных частиц. Наноцеллюлозы являются перспективными материалами с высоким газобарьером для упаковки пищевых продуктов на биологической основе (Guivier et al., 2023).

Для производства активных материалов становится востребовано использование растительных экстрактов в качестве антиокислительного агента. В статье (Moraczewski et al., 2020) использование экстрактов корицы, кофе, какао показало положительное влияние на физико-химические свойства полилактида, в особенности на «старение» материала, доказывая свою конкурентоспособность по сравнению с синтетическими добавками. В другой статье, авторы (Radusin et al., 2019) инкапсулировали чесночный экстракт по технологии электроформования, из их результатов видно, что введение чесночного экстракта улучшило пароизоляционные свойства и антимикробную активность в отношении бактерий *E. Coli* и *S. Aureus*.

Таким образом в состав упаковки могут входить материалы, полученные из возобновляемых ресурсов и/или биологического сырья — полимеры, которые варьируются от гибких пленок до жестких материалов, обладающие высокой прочностью, и растительные экстракты, выступающие как активные агенты, и бактериальная наноцеллюлоза, как матрица для активного агента. Данные разработки потенциальны для производства экологичной упаковки.

Однако в настоящее время инкапсулирование растительных антиоксидантов экстрактов в полимерную матрицу с использованием бактериальной наноцеллюлозы является сложной задачей, поскольку ранее не сообщалось о соответствующих исследованиях по применению бактериальной наноцеллюлозы для регулирования высвобождения активных веществ растительных компонентов при разработке активных упаковочных материалов.

Основной целью данного исследования является разработка активной упаковочной пленки из полилактида с введением в неё растительного антиокислительного агента в композите с бактериальной наноцеллюлозой, определение физико-химических, антиокислительных свойств полученного биополимерного материала.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- (1) изучить технологии получения пленок из биоразлагаемого материала;
- (2) изучить антирадикальную активность по методу DPPH, физико-химические свойства образцов пленок;
- (3) проанализировать полученные данные, сделать вывод.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объекты и материалы

Исследования проводились на базе Высшей биотехнологической школы СамГТУ. Все показатели свойств модельных образцов биоразлагаемых активных пленок определяли в соответствии с существующими стандартными методами и использованием приборной базы Высшей биотехнологической школы. Объектами исследования являлись: (1) растительный экстракт, получаемый из пищевых отходов (шелуха луковичи) чеснока *Allium sativum*, выращенного на территории Самарской области и собранного в период начала по конец сентября 2023 года; (2) растительный экстракт, получаемый из жмыха бархатцев *Tagetes erecta*, выращенных на территории Самарской области и собранных в период начала по конец сентября 2023 года; (3) растительный экстракт, получаемый из жмыха ягод барбариса *Berberis vulgaris* торговой марки *ZdravMarket*, ИП Крыштапович С.В., Россия; (4) растительный экстракт, получаемый из зеленого чая *Camellia sinensis*, собранного в провинции Фуцзянь, Китай, торговой марки *GurmanBazar*, ИП Белых Ф.М.; (5) растительный экстракт, получаемый из семян горчицы *Sinapis alba* торговой марки Никольские ПроРостки, ООО Амальгама; (6) бактериальная наноцеллюлоза, предоставленная ИПХЭТ СО РАН, (7) хлороформ химически чистый СТП ТУ СОМР 2–028–06. В качестве объекта ис-

следования был выбран биоразлагаемый материал: гранулы PLA торговой марки *Bestfilament*, ИП Берчук Д.Ю, Россия. В качестве пластификатора были выбраны: (1) полисорбат ТВИН-80 марки *A&T Cosmetics*, ИП Чайников И.П.; (2) глицерин (Шабанова; Борисова, 2023; Шабанова; Борисова, 2022).

Контрольный образец представляет собой пленку из полилактида, без добавления бактериальной наноцеллюлозы, антиоксидантного компонента, пластификатора.

Оборудование

Для проведения исследований использовались лабораторная мельница «Вьюга» (Экан, Россия), Cole-Parmer IKA 3725001 T25 высокоскоростной гомогенизатор (Ika-Werke, Германия), цифровой микрометр FIT-19909 (Fit Finch Industrial Tools, Канада), лабораторный микроскоп Celestron Laboratory (Celestron, Китай), фотометр КФК-3–01 (ЗОМЗ, Россия).

Методы и процедура исследования

Для получения экстрактов растительные материалы были заранее измельчены в лабораторной мельнице. Гранулы полилактида растворяли в хлороформе в соотношении 1:5, при температуре 60 °C в течение 3 ч, при постоянном механическом перемешивании. Извлечение экстрактивных веществ из растительных экстрактов осуществлялось ультразвуковой экстракцией 75 % этанолом при температуре 37 °C в течение 2 ч.

Для получения антибактериального агента к бактериальной целлюлозе добавляли профильтрованные спиртовые экстракты, время выдержки – 24 ч при температуре 25 °C. Полученный агент смешивали с пластификатором Twin-80 или глицерин и диспергировали в высокоскоростном гомогенизаторе (25000 об/мин) до однородного состояния. Полученный однородный агент смешивали с полимерным раствором.

Гранулы полилактида (25 г) растворяли в 50 мл хлороформа до получения однородного раствора. Раствор разливали в формы и сушили при температуре 25 ± 1 °C и относительной влажности 60 ± 2 % в течение 24 ч. Затем высушенные пленки осторожно отделяли от пластины и выдерживали 24 ч в эксикаторе, содержащий порошок безводного хлористого кальция (CaCl₂), при температуре 25 °C перед дальнейшими исследованиями.

Определение влажности проводили в соответствии с ГОСТ Р 54607.4–2015 «Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции обществен-

ного питания.»¹ Микроскопирование пленок проводилось на лабораторном микроскопе Celestron Laboratory с линзой стократного увеличения (George, 2012). Толщину пленки измеряли с помощью цифрового микрометра *FIT-19909*. Выполняли пять измерений для каждой пленки: один в центре образца и четырех на различных участках периметра. Толщина пленки рассчитывалась как среднее значение. Определение паропроницаемости пленок проводили по ГОСТ 21472–81 «Материалы листовые. Гравиметрический метод определения паропроницаемости»². Определяли растворимость и степень набухания пленок по методикам (Peng et. all., 2013) с некоторыми изменениями. Кусочки пленки (25 мм × 25 мм) взвешивали исходные сухие массы. Затем пленки помещали в стаканы на 50 мл с 30 мл дистиллированной воды. Стаканы были закрыты пробками и хранились при температуре 25 °С в течение 24 ч. Воду, оставшуюся в стаканах сливали, а оставшиеся кусочки пленки высушивали на поверхности фильтровальной бумаги. Остатки пленки снова высушили при температуре 25 °С на воздухе для определения конечной сухой массы. Для каждого образца пленки было проведено двукратное повторение. Испытание на антирадикальную активность проводилось на основе методов, описанных в методиках (Peng et. all., 2013) с некоторыми изменениями. Методика основана на способности антиоксидантов исходного сырья связывать стабильный хромоген-радикал 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразида (DPPH). Образцы плёнок 10 мм на 10 мм помещали в мензурки, содержащие 100 мл дистиллированной воды. За-

тем образцы пленки перемешивали магнитным полем при 250 об/мин с помощью 2-сантиметрового стержня, покрытого тефлоном. Отбирали по одному миллилитру образца в разные периоды времени при температуре 25 °С и смешивали с 4 мл 150 моль/л DPPH в метаноле. Смесь помещали в темное место при температуре 25 °С на 30 мин. Оптическую плотность смеси при длине волны 516 нм измеряли с помощью спектрофотометра. Все изменения выполнены в двух экземплярах. Результаты, представленные в виде активности по удалению радикалов DPPH. Антирадикальную активность выражали в виде концентрации исходного объекта в мг/мл, при которой происходило связывание 50 % радикалов.

Непрозрачность пленки определяли по методике (Peng et. all., 2013) путем измерения оптической плотности при 600 нм со спектрофотометром. Эксперимент проводился в двукратном повторении.

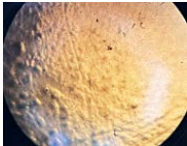
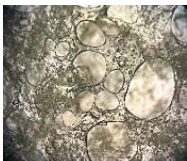
Анализ данных

Графики изменения ингибирования свободного радикала были построены в стандартной программе Excel 2019.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В Таблице 1 представлены физико-химические показатели объектов исследования.

Таблица 1
Результаты физико-химических исследований

Образец	Микроскопирование Увеличение 100х	Толщина, мм	Непрозрачность	Влагосодержание, %	Степень растворимости, %	Степень набухаемости, %	Паропроницаемость, 10 ⁻¹⁰ × г × м ⁻¹ × с ⁻¹ × Па ⁻¹
1	2	3	4	5	6	7	8
Контрольный образец		0,900	1,24	2,24	8,20	2,10	0,056
Пластификатор Твин-80							
Пленка с экстрактом зеленого чая		0,305	3,12	5,88	5,97	11,00	0,035

¹ ГОСТ Р 54607.4–2015 (2019). Услуги общественного питания. Методы лабораторного контроля продукции общественного питания. Часть 4. Методы определения влаги и сухих веществ. — М.: Стандартинформ.
² ГОСТ 21472–81 (2008) Материалы листовые. Гравиметрический метод определения паропроницаемости. — М.: Стандартинформ.

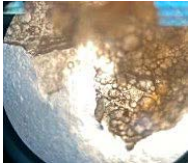
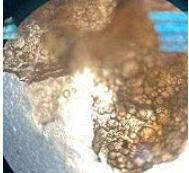
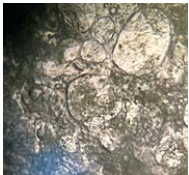
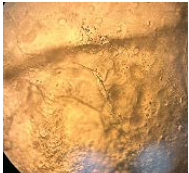
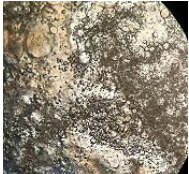
Образец	Микроскопирование Увеличение 100 ^x	Толщина, мм	Непрозрачность	Влагосодержание, %	Степень растворимости, %	Степень набухаемости, %	Паропроницаемость, $10^{-10} \times \text{г} \times \text{м}^{-1} \times \text{с}^{-1} \times \text{Па}^{-1}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Пленка с экстрактом семян горчицы		0,480	0,59	1,19	11,09	20,21	0,032
Пленка с экстрактом ягод барбариса		0,208	2,68	5,97	6,42	8,56	0,013
Пленка с экстрактом из чесночной шелухи		0,043	0,605	4,80	26,76	15,47	0,562
Пластификатор Глицерин							
Пленка с экстрактом зеленого чая		0,316	3,07	8,82	5,98	1,99	3,226
Пленка с экстрактом семян горчицы		0,740	2,30	14,74	22,67	0,99	0,226
Пленка с экстрактом ягод барбариса		0,353	3,37	7,5	1,79	2,24	1,228
Пленка с экстрактом из чесночной шелухи		0,039	2,65	1,60	0,97	1,09	1,360

Рисунок 1
Зависимость ингибирования свободного радикала пленок с добавлением активного агента и пластификатора Твин-80 от времени

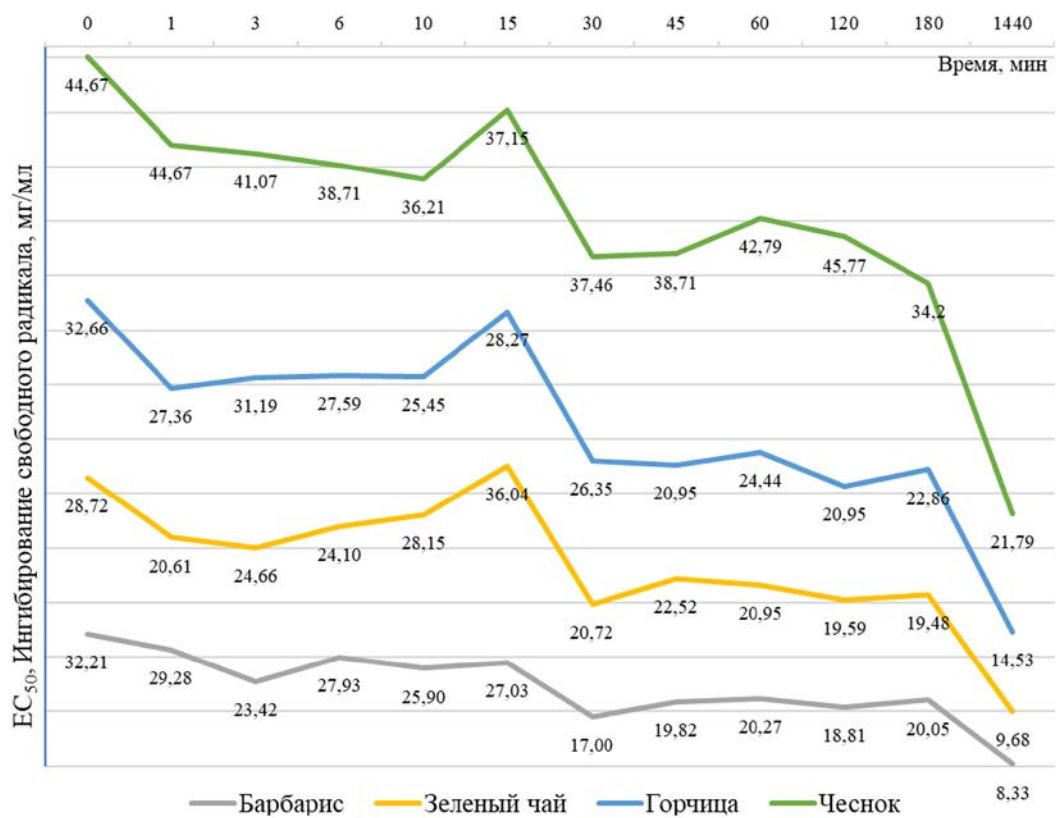
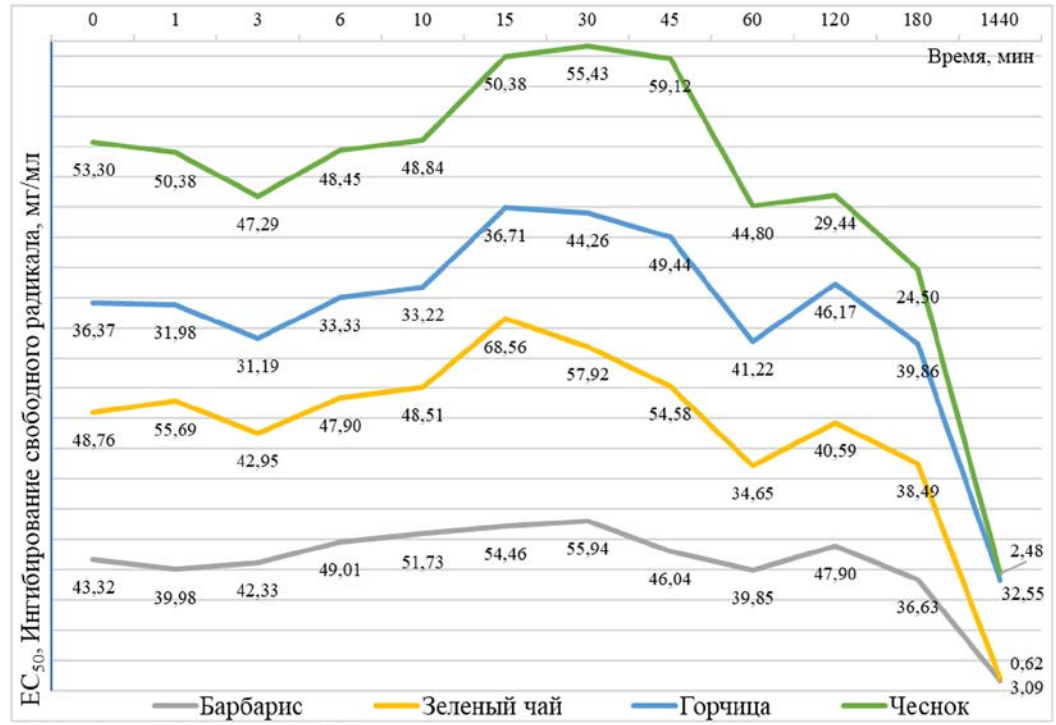


Рисунок 2
Зависимость ингибирования свободного радикала пленок с добавлением активного агента и пластификатора Глицерин от времени



На Рисунках 1, 2 представлены графики зависимости ингибирования свободного радикала пленок с добавлением активного агента и пластификатора (Твин-80 или глицерин) от времени.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Способность DPPH поглощать радикалы была изучена в определенных интервалах времени, чтобы продемонстрировать высвобождение антиоксидантных веществ в имитированных естественных условиях.

Активность по удалению свободных радикалов у контрольного образца наблюдалась значительно низкая. Введение бактериальной целлюлозы, пропитанной растительным экстрактом, повышало способность DPPH к удалению радикалов. Анализируя результаты приведенных исследований, можно сделать вывод, что введение бактериальной наноцеллюлозы вместе с пластификатором (твин-80 или глицерин) положительно влияет на длительность действия активного компонента. Импульсные реакции наблюдаются на 0, 15, 60 минутах у образцов с введением Твин-80, затем наблюдается постепенное снижение. У глицериновых образцов импульсные реакции наблюдаются на 15 или 30 минутах, в зависимости от антиокислительного агента, затем наблюдается резкий спад, что, вероятно, скорость высвобождения зависит от быстрого снижения концентрации глицерина.

В зависимости от пластификатора, образцы с разными экстрактами реагировали с растворителем (дистиллированная вода) с определенной интенсивностью: молекулы растворителя, проникая в сетчатую структуру, приводили к набуханию матрицы, эти изменения приводили к диффузии активных веществ, тем самым, выявляя зависимость способности набухания и растворения сложноструктурного биополимера и межмолекулярных связей между биополимером, микрофибриллами бактериальной наноцеллюлозы и растительным экстрактом.

Значения степени набухаемости варьируются в зависимости от введенного активного компонента — микрочастицы растительного экстракта вплетаясь в бактериальную наноцеллюлозу добавочно впитывают жидкость. Степень растворимости меняется из-за неоднородного нахождения наноцеллюлозы по всей плотности образца, краевые частицы целлюлозы не имея зацепа, растворялись в растворителе.

Образование пустот наблюдалось у всех образцов вне зависимости от используемого пластификатора.

Результаты микроскопирования показали, что образцы вне зависимости от добавленного пластификатора имеют неоднородную структуру — наибольшее количество включений пузырьков наблюдаются у образцов с экстрактом из зеленого чая (Твин-80, глицерин), с экстрактом из чесночной шелухи (Твин-80). Неоднородность также объясняется сложностью гомогенизации бактериальной наноцеллюлозы.

Установлено, что у большинства образцов значения толщины варьируются. Определено, что большие показатели наблюдаются у образцов с добавлением Твин-80 с растительными экстрактами из чеснока (0,043 мм). Высокие показатели наблюдаются у образцов с добавлением глицерина с растительными экстрактами из горчицы (0,740 мм), барбариса (0,353 мм). Незначительные изменения наблюдаются у образца с добавлением зеленого чая: Твин-80—0,305, глицерин — 0,316.

Низкое значение влагосодержания зависит от многих факторов: использование поверхностно-активных веществ (пластификаторы), высокое содержание гидрофобных соединений (например, эфирное масло) внедрение гидрофильных материалов (бактериальная наноцеллюлоза). Высокое содержание эфирного масла у образцов с добавлением горчицы (Твин-80—1,19 %), чеснока (Твин-80—4,80 %), зеленого чая (Твин-80—5,88 %), барбариса (Твин-80—5,97 %) способствовало снижению содержания воды, несмотря на гидрофильные свойства бактериальной наноцеллюлозы. Гидрофильный эффект от глицерина и бактериальной наноцеллюлозы преимущественно повлиял на образцы с добавлением барбариса (7,50 %), зеленого чая (7,50 %), чеснока (11,60 %), горчицы (14,74 %), несмотря на содержание эфирных масел.

Степень набухаемости и степень растворимости показана неоднозначно. Среди образцов с добавлением глицерина наблюдаются низкие показатели степени растворимости. Пластификатор Твин-80 является солюбилизатором, растворяя гидрофобные эфирные масла, открывая доступ бактериальной наноцеллюлозе к воде, поэтому показатели равны: экстракт зеленого чая (11,00 %), экстракт из ягод барбариса (20,21 %), экстракт из семян горчицы (8,56 %), экстракт из шелухи чеснока (15,47 %). Степень растворимости у образцов с добавлением пластификаторов зафиксирована высокая: горчица (Твин-80—11,09 %, глицерин — 22,67), чеснок (Твин-80—26,76 %) по сравнению с контрольным образцом. Такая растворимость была связана с гидрофильными свойствами пленок, пластификатора и бактериальной наноцеллюлозы. Низкая способность к растворению обнаружилась у образцов: зеленый чай (Твин-80—5,97 %, глицерин — 5,98 %), барбарис (Твин-80—6,42 %, глицерин — 1,79 %), чеснок (глицерин — 1,09 %). Это объясняется, что уменьшение степени сшивания межмолекулярных цепей, приведет к уменьшению силы втягивания,

что позволит поглощать больше воды. В исследовании, вероятно происходит сильное взаимодействие между полилактидом, бактериальной наноцеллюлозой и экстрактами, что приводило к снижению степени сшивания межмолекулярной цепи в матрице, что приводило к низкой степени растворимости пленочной матрицы и высокой степени набухаемости.

Паропроницаемость у всех образцов достаточно низкая. Эффект объясняется взаимодействием между молекулярными структурами внутри пленки: агрегация фибрилл бактериальной наноцеллюлозы, пластификатора и частиц растительного экстракта приводит к снижению коэффициента паропроницаемости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных физико-химических исследований образцов биоразлагаемых активных пленок, определено, что образцы нуждаются в усовершенствовании технологии получения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Альхаир, А., Щукина, Е. А., Губанова, М. И., Кирш, И. А., & Ермилова, А. М. (2023). Разработка и исследование активного упаковочного материала на основе крахмала с использованием в качестве антимикробной добавки масленного экстракта гвоздики. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 16–31. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.4.474>

Alkhair, A., Shchukina, E. A., Gubanova, M. I., Kirsh, I. A., & Ermilova, A. M. (2023). Development of an active starch-based packaging material using clove oil extract as an antimicrobial additive. *Storage and Processing of Farm Products*, (4), 16–31. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.4.474> (In Russ.)

Еремеева, Н. Б., Макарова, Н. В., & Елисеева, Е. А. (2019). Оценка органолептических и физико-химических свойств съедобных стаканов на основе яблочного сырья с использованием различных наполнителей: сушеных снеков, орехов, семян, зерновых хлопьев. *Вестник Камчатского государственного технического университета*, (50), 38–45.

Eremeeva, N. B., Makarova, N. V., & Eliseeva, E. A. (2019). Evaluation of organoleptic and physicochemical properties of edible cups based on apple raw materials using various fillers: dried snacks, nuts, seeds, cereal flakes. *Bulletin of Kamchatka State Technical University*, (50), 38–45. (In Russ.)

Шабанова, П. В., & Борисова, А. В. (2023) Разработка полилактидной плёнки с эфирным маслом мелиссы.

Установлено, что паропроницаемость образцов с глицеринов выше по сравнению с образцами с добавлением Твин-80. Значения набухаемости варьируются в зависимости от введенного активного компонента. Результаты исследования показывают, что введение бактериальной наноцеллюлозы в исследуемые объекты увеличивает срок действия антиоксидантов. Результаты, представленные в статье, показывают, что разработка данного продукта является многообещающим решением в производстве активных биоразлагаемых пленок.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Шабанова П.В.: отслеживание воспроизводимости результатов/экспериментов, подготовка и создание рукописи, её комментирование или пересмотр, включая этапы до или после публикации рукописи.

Абаева А.В.: научное руководство исследованием, подготовка и создание черновика рукописи, концептуализация, разработка методологии исследования, курирование данных.

В *Пищевые технологии и биотехнологии* (с. 698–707). КНИТУ.

Shabanova, P. V., & Borisova, A. V. (2023) Development of polylactide film with lemon balm essential oil. In *Food Technology and Biotechnology* (pp. 698–707). KNIU. (In Russ.)

Шабанова, П. В., & Борисова, А. В. (2022) Биоразлагаемая активная пленка на основе PLA с добавлением эфирного масла шалфея. В *Science Tech: Инновации в научно-практических исследованиях* (с. 69–72). ЗапСибНЦ

Shabanova, P. V., & Borisova, A. V. (2022) Biodegradable active film based on PLA with the addition of sage essential oil. In *Science Tech: Innovations in scientific and practical research* (pp. 69–72). ZapSibNC. (In Russ.)

Arfat, Y. A., Benjakul, S., Prodpran, T., & Osako, K. (2014). Development and characterisation of blend films based on fish protein isolate and fish skin gelatin. *Food Hydrocolloids*, 39, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.028>

Badredtinova, I., & Kasatkin, V. (2023). Production of biodegradable eco-package for food storage and transportation from flax shive by vacuum casting. *Vestnik Iževskoj Gosudarstvennoj Sel'skhozâjstvennoj Akademii*, 2(74), 56–64. https://doi.org/10.48012/1817-5457_2023_2_56-64

Eslami, Z., Elkoun, S., Robert, M., & Adjallé, K. (2023). A review of the effect of plasticizers on the physical and mechanical

- properties of Alginate-Based films. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 28(18), 6637. <https://doi.org/10.3390/molecules28186637>
- Frangopoulos, T., Marinopoulou, A., Goulas, A., Likotrafti, E., Rhoades, J., Petridis, D., Kannidou, E., Stamelos, A., Theodoridou, M., Arampatzidou, A., Tosounidou, A., Tsekmes, L., Tsihlakis, K., Gkikas, G., Tourasanidis, E. V., & Karageorgiou, V. (2023). Optimizing the functional properties of Starch-Based biodegradable films. *Foods*, 12(14), 2812. <https://doi.org/10.3390/foods12142812>
- Guivier, M., Almeida, G., Domenek, S., & Chevigny, C. (2023). Resilient high oxygen barrier multilayer films of nanocellulose and polylactide. *Carbohydrate Polymers*, 312, 120761. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.120761>
- Hu, X., Li, Y., Han, L., Li, S., & Song, L. (2019). Characterization of antioxidant and antibacterial gelatin films incorporated with Ginkgo biloba extract. *RSC Advances*, 9(47), 27449–27454. <https://doi.org/10.1039/c9ra05788a>
- Hussain, M., Khan, S. M., Shafiq, M., & Abbas, N. (2024). A review on PLA-based biodegradable materials for biomedical applications. *Giant*, 18, 100261. <https://doi.org/10.1016/j.giant.2024.100261>
- Jaśkiewicz, A., Budryn, G., Nowak, A., & Efenberger-Szmechtyk, M. (2020). Novel Biodegradable Starch Film for Food Packaging with Antimicrobial Chicory Root Extract and Phytic Acid as a Cross-Linking Agent. *Foods*, 9(11), 1696. <https://doi.org/10.3390/foods9111696>
- Kirsh, I., Bannikova, O., Beznaeva, O., & Tveritnikova, I. (2020a). Research of the influence of the ultrasonic treatment on the melts of the melts of the polymeric compositions for the creation of packaging materials with antimicrobial properties and biodegradability. *Polymers*, 12(2), 275. <https://doi.org/10.3390/polym12020275>
- Kirsh, I., Beznaeva, O., Bannikova, O., Gubanova, M., Tveritnikova, I. (2020b) Influence of the ultrasonic treatment on the properties of polybutylene adipate terephthalate, modified by amicrobial additive. *Polymers*, 12(10), 1–13. <https://doi.org/10.3390/polym12102412>
- Kumari, S., Yadav, B. S., & Yadav, R. B. (2023). Development and characterization of mung bean starch-based composite films incorporated with sweet potato starch nanocrystals for their morphological and thermo-mechanical properties. *Biomass Conversion and Biorefinery*. <https://doi.org/10.1007/s13399-023-05212-7>
- Menezes, M.D., Pires, N.D., da Cunha, P.L., de Freitas Rosa, M., de Souza, B.W., Feitosa, J.P., & Souza Filho, M.D. (2019). Effect of tannic acid as crosslinking agent on fish skin gelatin-silver nanocomposite film. *Food Packaging and Shelf Life*, 19, 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.11.005>
- Mishra, S., Singh, P. K., Pattnaik, R., Kumar, S., Ojha, S. K., Srichandan, H., Parhi, P. K., Jyothi, R. K., & Sarangi, P. K. (2022). Biochemistry, Synthesis, and Applications of Bacterial cellulose: a review. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2022.780409>
- Moraczewski, K., Pawłowska, A., Stepczyńska, M., Malinowski, R., Kaczor, D., Budner, B., Gocman, K., & Rytlewski, P. (2020). Plant extracts as natural additives for environmentally friendly polylactide films. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100593. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100593>
- Nurdiani, R., Ma'rifah, R., Busyro, I., Jaziri, A. A., Prihanto, A. A., Firdaus, M., Talib, R. A., & Huda, N. (2022). Physical and functional properties of fish gelatin-based film incorporated with mangrove extracts. *PeerJ*, 10, e13062. <https://doi.org/10.7717/peerj.13062>
- Nxumalo, K. A., Fawole, O. A., & Aremu, A. O. (2023). Development of chitosan-based active films with medicinal plant extracts for potential food packaging applications. *Processes*, 12(1), 23. <https://doi.org/10.3390/pr12010023>
- Peng, Y., Wang, Y., & Li, Y. (2013). Development of tea extracts and chitosan composite films for active packaging materials. *International Journal of Biological Macromolecules*, 59, 282–289. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.04.019>
- Radusin, T., Torres-Giner, S., Stupar, A., Ristić, I., Miletić, A., Novaković, A., & Lagarón, J. M. (2019). Preparation, characterization and antimicrobial properties of electrospun polylactide films containing *Allium ursinum* L. extract. *Food Packaging and Shelf Life*, 21, 100357. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100357>
- Wrońska, N., Katir, N., Nowak-Lange, M., Kadib, A. E., & Lisowska, K. (2023b). Biodegradable Chitosan-Based films as an alternative to plastic packaging. *Foods*, 12(18), 3519. <https://doi.org/10.3390/foods12183519>
- Zinina, O., Merenkova, S., & Galimov, D. M. (2023). Development of Biodegradable Alginate-Based Films with Bioactive Properties and Optimal Structural Characteristics with Incorporation of Protein Hydrolysates. *Sustainability*, 15(20), 15086. <https://doi.org/10.3390/su152015086>