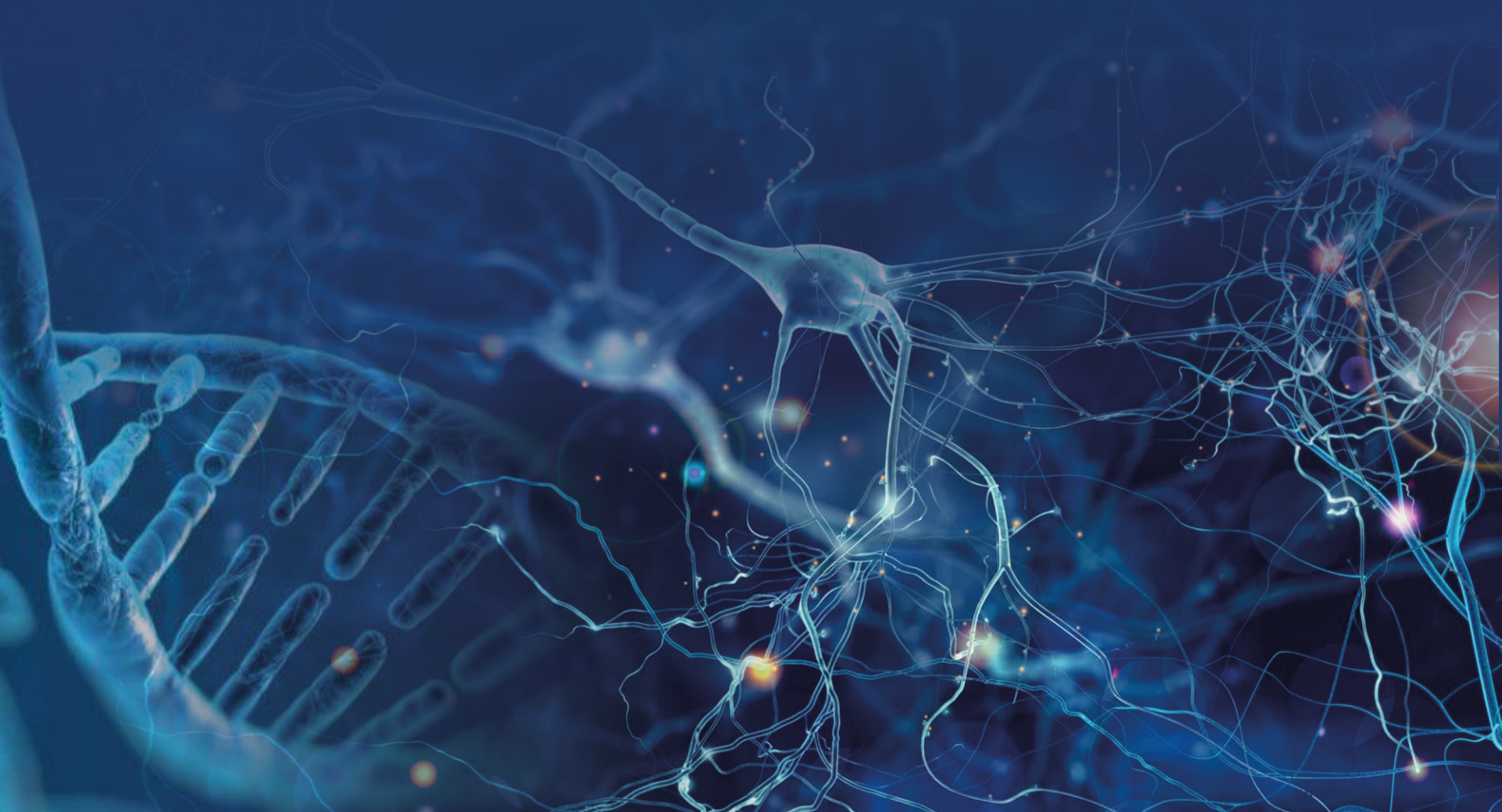


ISSN 2712-7648

HEALTH, FOOD, & BIOTECHNOLOGY

Volume 1, Issue 3
Year 2019



HFB

Health, Food and Biotechnology

№ 3 - 2019

Периодичность издания – 4 номера в год

No 3 - 2019

Periodicity of publication - 4 issues per year

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств» (ФГБОУ ВО МГУПП)

Founder: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Moscow State University of Food Production» (FSBEI HE MSUFP)

Редакция

Заведующий редакцией - Косычева Марина Александровна
Выпускающий редактор - Косычева Марина Александровна
Ответственный секретарь - Шленская Наталья Марковна
Редактор по этике - Хорохорина Галина Анатольевна
Медийный редактор - Акопян Армен Игитович

Editorial Team

Head of Editorial Team - Marina A. Kosycheva
Editor of Issue - Marina A. Kosycheva
Executive Secretary - Nataliya M. Shlenskaya
Ethics Editor - Galina A. Khorokhorina
Social Media and Product Editor - Armen I. Hakobyan

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.

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.

Адрес:

125080, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, 11
Тел. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Address:

11, Volokolamskoe shosse, Moscow, Russian Federation, 125080
Tel. +7 (499) 750-01-11*6585
E-mail: info@spfp-mgupp.ru

Официальный сайт учредителя: mgupp.ru

Официальный сайт редакции: hfb-mgupp.com

© ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 2019.

Official web site of Founder: mgupp.ru

Official web site of the Editorial Office: hfb-mgupp.com

© FSBEI HE «Moscow State University of Food Production», 2019.

Редакционный совет

Главный редактор **БАЛЫХИН Михаил Григорьевич** – доктор экономических наук, профессор, ректор

Члены редакционного совета:

Абаева Курманкуль Тулеутаевна	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Абдраманов Абзал Аскарбекович	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Асанова Дания Касимовна	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Бойд Сара	Дублинский технологический институт, Ирландия
Бурлибаев Малик Жолдасович	Казахское агентство прикладной экологии, Республика Казахстан
Джзозаф Моисей	Варшавский университет естественных наук, Польша
Есполов Тлектес Исабаевич	Казахский национальный аграрный университет, Республика Казахстан
Игнар Штефан	Варшавский университет естественных наук, Польша
Мусаева Айман Амангельдиевна	Атырауский государственный университет им. Халела Досмухамедова, Республика Казахстан
Пикосжевский Войцех	Ягеллонский университет, Польша
Подлацкий Славомир	Варшавский университет естественных наук, Польша
Сагян Ашот Серобович	Научно-производственный центр "Армбиотехнология" НАН РА, Республика Армения
Самбандам Ананадан	Национальный институт технологий, Индия
Сарсекова Дани Нургисаевна	Казахский агротехнический университет имени Сакена Сейфуллина, Республика Казахстан
Северинов Константин Викторович	Институт молекулярной генетики РАН, Институт биологии гена РАН, Россия
Франкович Марек	Ягеллонский университет, Польша
Фриас Исус	Дублинский технологический институт, Ирландия
Хайтович Филипп Ефимович	Институт Вычислительной Биологии в Шанхае, Сколтех, Китай, Россия
Химмелбауер Маргарита	Венский университет природных ресурсов, Австрия
Цыганова Татьяна Борисовна	Московский государственный университет пищевых производств, Россия,
Шенбергер Игорь Викторович	Казахстанское Агентство Прикладной Экологии, Республика Казахстан
Щетинин Михаил Павлович	Московский государственный университет пищевых производств, Россия
Юнусова Гульнара Батырбековна	Костанайский государственный университет имени А.Байтурсынова, Республика Казахстан

Editorial Board

Editor-in-Chief **Mikhail G. BALYKHIN** – Doctor of Economics, Professor, Rector

Members of the Editorial Board:

Kurmankul T. Abayeva	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Abzal A. Abdramanov	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Daniya K. Asanova	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Sara Boyd	Dublin Institute of Technology, Ireland
Malik Burlibayev	Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Kazakhstan
Tlektes I. Espolov	Kazakh National Agrarian University, Kazakhstan
Marek Frankowicz	Jagiellonian University, Poland
Jesus Frias	Dublin Institute of Technology, Ireland
Margarita Himmelbauer	University of Natural Resources and Life Sciences, Austria
Mosiej Jozef	Warsaw University of Life Sciences, Poland
Philipp E. Khaitovich	Institute for Computational Biology by the Chinese Academy of Sciences; Skoltech, China, Russia
Aiman A. Mussayeva	Kh. Dosmukhamedov Atyrau State University, Kazakhstan
Wojciech Piekoszewski	Jagiellonian University, Poland
Slawomir Podlaski	Warsaw University of Life 1 Sciences, Poland
Ashot S. Saghyan	National Academy of Sciences of the Republic of Armenia, Armenia
Anandan Sambandam	National Institute of Technology Tiruchirappalli, India
Dani N. Sarsekova	S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Kazakhstan
Mikhail P. Schetinin	Moscow State University of Food Production, Russia
Konstantin V. Severinov	Institute of Gene Biology Russian Academy of Sciences, Russia
Igor V. Shenberger	Kazakhstan Agency of Applied Ecology, Kazakhstan
Ignar Stefan	Warsaw University of Life 1 Sciences, Poland
Tatiana B. Tsyganova	Moscow State University of Food Production, Russia
Gulnara B. Yunussova	A.Baitursynov Kostanay State University, Kazakhstan

Содержание

Редакторская статья

Балыхин М.Г., Косычева М.А. Этика научной публикации	7
--	---

Здоровье

Базылев В.В., Карнахин В.А. Сравнение возможностей логистической регрессии и искусственных нейронных сетей в прогнозировании результатов исследования на малой выборке	11
Зубрицкий В.Ф., Звольская Н.М., Левчук А.Л., Лаптева Е.А. Хирургическое лечения осложненных форм хронического панкреатита открытым стентированием панкреатического протока	21
Ленченко Е.М., Сысоева Н.Ю., Блюменкранц Д.А. Индикация биопленок и некультивируемых микроорганизмов при мониторинге биологической безопасности пищевого сырья	35

Питание

Гунькин В.А, Суслинок Г.М., Вани Д.А. Получение готового завтрака в виде хлопьев из зерна тритикале	47
Мачнев А.В., Федоренко Б.Н., Кухарев О.Н., Мачнев В.А., Латышев М.А., Мачнева О.Ю. Использование двухдискового распределяющего и двухуровневого отражающего устройств камерного протравливателя для повышения качества обработки семян зерновых культур	57
Рубан Н.В., Кульнева Н.Г., Журавлев М.В. Обоснование энергетической эффективности технологии термохимической подготовки свекловичной стружки к экстрагированию сахарозы с помощью эксергетических методов анализа	69
Суворов О.А. Криоэлектрохимическая технология повышения безопасности и пролонгация срока хранения рыбы ...	84
Тверитникова И.С., Банникова О.А., Безнаева О.В., Романова В.А., Загребина Д.М., Кондратова Т.А. Модификация полимерных смесей с сополимерами для получения полимерных композиций с улучшенными деформационно-прочностными характеристиками	92

Биотехнологии

Куш И.В., Ваннер Н.Э., Удавлиев Д.И., Мурадова М.Д. Микробиологическая безопасность меда	106
Рындин А.А., Шаненко Е.Ф., Мухамеджанова Т.Г., Гришин А.Г., Веселков К.А., Константинова А.С. Использование микробных культур в технологии функциональных напитков	118

Content

Editorial

M. Balykhin, M. Kosycheva Ethics of Scientific Publication.....	7
---	---

Health

V. Bazylev, V. Karnakhin Comparison of the Possibilities of Logistic Regression and Artificial Neural Networks in Predicting the Results of Research on f Small Sample.....	11
V. Zubritskiy, N. Zvolskaya, A. Levchuk, E. Lapteva Surgical Treatment of Complicated Forms of Chronic Pancreatitis by Open Stenting of Pancreatic Flow.....	21
E. Lenchenko, N. Sysoeva, D. Blumenkrants The Indication of Biofilms and Non-Cultivated Microorganisms while Monitoring the Biological Safety of Food Raw Materials.....	35

Food

V. Gunkin, G. Suslyanok, J. Wani Producing ready breakfast in the form of flakes from triticale grains	45
A. Machnev, B. Fedorenko, O. Kukharev, V. Machnev, M. Latyshev, O. Machneva Use of a Two-Disc Distributing and Two-Level Reflecting Devices of a Chamber Protector to Increase the Quality of Treatment of Seeds of Grain Crops.....	57
N. Ruban, N. Kulneva, M. Zhuravlev Justification of the Energy Efficiency of the Technology for the Thermochemical Preparation of Beet Chips for the Extraction of Sucrose Using Exergy Analysis Methods.....	69
O. Suvorov Cryogenic Electrochemical Technology for Increasing the Safety and Shelf Life of Fish	84
I. Tveritnikova, O. Bannikova, O. Beznaeva, V. Romanova, D. Zagrebina, T. Kondratova Modification of Polymer Mixtures with Copolymers to Obtain Polymer Compositions with Improved Deformation and Strength Characteristics	92

Biotechnology

I. Kushch, N. Vanner, D. Udavliev, M. Muradova Microbiological Safety of Honey.....	106
A. Ryndin, E. Shanenko, T. Muhamedjanova, A. Grishin, K. Veselkov, A. Konstantinova Use of Microbial Cultures in Functional Beverages Technology.....	118

Этика научной публикации

Балыхин Михаил Григорьевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: rektor@mgupp.ru

Косычева Марина Александровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: kosychevama@mgupp.ru

Рассматриваются основные принципы публикационной этики научных исследований. Описываются основные виды рецензирования рукописей. Объясняется принцип двойного слепого рецензирования как предпочтительного. Освещены вопросы цитирования и самоцитирования, приписного авторства, проблемы повторных и дублирующих публикаций.

Ключевые слова: этика научной публикации, плагиат, рецензирование, самоцитирование, этические нормы

Согласно данным Scopus и Web of Science имеет место активизация публикационной активности отечественных ученых за последние 15 лет¹. Наличие статей российских ученых в международных базах данных обуславливает возможность доступа к ним на международном уровне всех заинтересованных лиц. Отсюда, качество публикаций формирует имидж российской науки в восприятии международного сообщества (Raitskaya, L., Tikhonova, E., 2019).

Соблюдение прав авторов на интеллектуальную собственность и следование принципам этики публикационной и научно-исследовательской активности приобретают, в этой связи, определяющее значение. Под этикой научных публикаций понимают систему норм профессионального поведения во взаимоотношениях авторов, рецензентов, редакторов, издателей и читателей в процессе создания, распространения и использования научных публикаций. Все, кто вовлечен в публикационный процесс строят эти взаимоотношения в соответствии с рекомендациями Комитета по этике пу-

бликаций, COPE (Committee of Publication Ethics)². В России вопросами этики научных публикаций занимается Совет по этике научных публикаций Ассоциации научных редакторов и издателей (АНРИ), который в 2016 году принял Декларацию «Этические принципы научных публикаций». Суть положений последнего сводится к тому, что научное сообщество должно иметь четкое представление о публикационной этике, неэтичное поведение должно открыто и безоговорочно осуждаться, любые виды сотрудничества, ведущие к производству «мусорных» публикаций, препятствующих развитию науки в целом, должны пресекаться³.

Редакция журнала призвана беспристрастно оценивать рукописи авторов и руководствоваться только достоверностью представляемых данных и их научной значимостью. В задачи редакторов и издателей входит соблюдать конфиденциальность рецензирования, следить за сохранением авторских прав. В свою очередь авторы должны гарантировать, что предоставленные ими статьи являются оригинальными, приведенные в них данные

¹ <https://www.5top100.ru/news/100908/>

² <https://publicationethics.org/core-practices>

Committee on Publication Ethics (COPE), Великобритания – это некоммерческая организация, целью которой является помощь издателям и поиск лучших решений для соблюдения этики научных публикаций. COPE была организована в 1997 году небольшой группой редакторов медицинских научных журналов в Великобритании. Сейчас в него входит более 600 членов из множества научных областей по всему миру. Членство открыто для редакторов научных журналов и всех, кто интересуется издательской этикой.

³ <https://rasep.ru/sovet-po-etike/deklaratsiya>

достоверны и несфальсифицированы, цитирования оформлены корректно, плагиат отсутствует в любой из его форм. Самоплагиат является таким же неэтичным, как и плагиат чужих идей и текстов. Соавторами статьи могут выступать только те лица, которые непосредственно принимали участие в исследовании, и, соответственно, они же будут нести ответственность за содержание статьи. Это означает, что если в статье будет выявлен плагиат, и она будет ретрагирована из журнала, то репутация всех членов авторского коллектива пострадает в равной степени.

Деятельность рецензентов должна быть непредвзятой, а в их отчетах по рукописям персональная критика категорически неприемлема: оценке подвергаются только результаты исследования. В случае возникновения конфликта интересов, рецензент должен немедленно уведомить редакцию, чтобы ее сотрудники могли оперативно принять решение о путях их разрешения.

Различают три основных вида рецензирования на допубликационном этапе – одностороннее «слепое», двойное «слепое» и открытое рецензирование. В первом случае автор не знает рецензента, тогда как рецензенту известно имя автора. При двойном «слепом» рецензировании ни автору, ни рецензенту неизвестны фамилии друг друга. Когда рецензирование открытое, автор и рецензент знают имена и регалии друг друга.

У каждого типа рецензирования есть свои преимущества и недостатки. Журналы зачастую придерживаются политики двойного слепого рецензирования, так как в этом случае личность и заслуги автора не могут повлиять на решение рецензента (хвалебные рецензии на статьи широко известных в научных кругах авторов / излишне критичные в отношении начинающих исследователей).

Данный подход снимает и опасения рецензента о возможном неприязненном отношении авторов прорецензированных статей. К тому же, открытое рецензирование может повлечь предвзятое отношение рецензентов и обусловить конфликт интересов. Данный вид рецензирования подразумевает, что ничего, кроме качества статьи не сможет повлиять на процесс принятия или отклонения рукописи. Вместе с тем, по мнению некоторых исследователей⁴, рецензентам сложно оставаться «слепыми», потому что зачастую это опытные исследователи, которые хорошо знакомы с науч-

ными школами в своей области, и для них не составит труда догадаться об авторстве рукописи. Особенности использования методик исследования, специальные аббревиатуры и терминология, самоцитирование могут послужить ключом к определению авторства (Ножевникова, 2018). Кроме того, есть мнение, что анонимность снижает ответственность рецензентов за качество своей рецензии

Открытое рецензирование в этой связи мыслится весьма перспективным, но также имеет ряд недостатков. Тот факт, что автор и рецензент знают друг друга, исключает возможность плагиата, несправедливой критики и способствует объективной оценке. Но на объективность оценки, с другой стороны, может повлиять статус ученого, его положение в научном обществе, так как рецензент, боясь навредить себе, не будет слишком критичным. Логика научной коммуникации на современном этапе развития научного сообщества стремится использовать открытое рецензирование в качестве инструмента построения открытой научной дискуссии и призвана, способного гарантировать быструю и эффективную обратную связь, а также сделать невозможным для недобросовестных авторов публиковать свои статьи.

Рецензент, независимо от формы рецензирования, должен объективно оценивать текст, сообщать редакции о возникшем конфликте интересов, информировать о недостаточности своей квалификации или нехватке времени для рецензирования рукописи. Несоблюдение этих норм будет свидетельствовать о неэтичном поведении рецензента.

Нарушением этики публикаций научных исследований является и плагиат. Проблем плагиата стала особенно актуальной в российской науке в последние 10 лет. Большую роль в борьбе с политикой плагиата сыграло появление некоммерческого общества «Диссернет», которое на безвозмездной основе занимается проверкой диссертаций и научных статей ученых и правительственных лиц с последующим их обнародованием. Результаты проверки оказываются неутешительными (Рашби, 2017): плагиат не просто воспринимается рядом автором в качестве приемлемой практики, они искренне не понимают, почему они должны его искоренять.

И если проблема плагиата широко освещается и публично осуждается, то вопрос самоплагиата,

⁴ Ерохина, Е. (2019, February 27). Двойное слепое рецензирование: ожидания и реальность. Новости сибирской науки. <http://www.sib-science.info/ru/news/na-strazhe-nauki-27022019>

чаще недобросовестного, не обсуждается настолько широко. Некоторые авторы (Котляров, 2011; Кулешова и соавт., 2019) полагают, что недобросовестное цитирование должно рассматриваться как форма неэтичного научного поведения. Четких инструкций относительно того, какой процент самоцитирования считается допустимым не существует. Цитирование собственных работ в статье не просто допустимо, но необходимо. Наличие исследовательского багажа по теме только приветствуется. Но, зачастую, авторы при помощи самоцитирования пытаются повысить свои показатели публикационной активности. Любая цитата должна быть уместна и обоснована контекстом, поэтому цитирование ради цитирования категорически неприемлемо. Обоснованное же цитирование (в том числе и самоцитирование) необходимо.

Большинство журналов сходятся в том, что процент самоцитирования не должен превышать 10 % от общего списка источников, так как к статьям предъявляют требование научной новизны и следования нормам публикационной этики. Дублирование научной информации мешает другим исследователям находить необходимые данные и вводит в заблуждение научное общество в целом (Кулешова и соавт., 2019).

Самоцитирование следует отличать от самоплагиата, повторного опубликования автором значительных объемов своих уже опубликованных предыдущих работ сходных по тематике и содержанию. Самоплагиат может принимать различные формы (прямое копирование, изменение порядка слов и т.д.).

Переработанная и вновь опубликованная публикация считается этичной только в том случае, если авторы прямо указали, что вновь опубликованное исследование основано на новой методике, провели сравнительный анализ и указали, чем новое исследование отличается от предыдущего.

Еще одной формой неэтичной публикации считается повторное опубликование рукописи на другом языке в случае, если авторы не ссылаются на оригинальную работу. Вместе с тем, широкое распространение получает практика повторного опу-

бликования успешной статьи журналом: редакция журнала, в таком случае, может обратиться в редакцию журнала первым опубликовавшим данную статью и запросить разрешение на его повторное опубликование в неизменном виде (или – её перевода) с указанием первоисточника (то есть – первого журнала). Согласие автора так же является необходимым этапом повторного опубликования статьи.

Чтобы предотвратить риск появления плагиатных и недобросовестных публикаций, редакции журналов запрашивают у авторов сопроводительное письмо, в котором просят их подтвердить, что работа является оригинальной, не была опубликована ранее и не принята к публикации в другом журнале. Все редакции журналов четко прописывают положения этической политики как для авторов, так и для рецензентов. Редакция несет ответственность за публикуемый контент, поэтому в ее задачи входит предотвращение появления недобросовестных научных публикаций, содержащих плагиат, фальсификацию и фабрикацию данных.

Литература

- Котляров, И. Д. (2011). Самоплагиат в научных публикациях. *Научная периодика: проблемы и решения*, 1(4), 6–12. <https://doi.org/10.18334/np1423>
- Кулешова, А.В., Чехович, Ю. В., & Беленькая, О. С. (2019). По лезвию бритвы: как самоцитирование не превратить в самоплагиат. *Научный редактор и издатель*, 4(1-2), 45-51. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2019-1-2-45-51>
- Ножевникова, Е. Г. (2018). Открытое рецензирование: сущность, перспективы, проблемы организации. *Научный редактор и издатель*, 3(1–2), 33–37. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2018-1-2-33-37>
- Рашби, Н. Д. Публикационная этика: моральные принципы и культурный диссонанс. *Научный редактор и издатель*, 2(2-4), 107-112. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2017-2-4-107-112>
- Raitskaya, L., & Tikhonova, E. (2019). The Top 100 Cited Discourse Studies: An Update. *Journal of Language and Education*, 5(1), 4-15. <https://doi.org/10.17323/2411-7390-2019-5-1-4-15>

Ethics of Scientific Publication

Mikhail G. Balykhin

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: rektor@mgupp.ru*

Marina A. Kosycheva

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: kosychevama@mgupp.ru*

The basic principles of a scientific paper publication ethics are considered. The main types of peer review of manuscripts are described. The principle of double blind peer review is explained. Attention is paid to issues of citation and self-citation, repeated and duplicate publications.

Keywords: ethics of scientific publication, plagiarism, peer review, self-citation, ethical standards

References:

- Kotlyarov, I. D. (2011). Plagiarism in scientific publications. *Nauchnaya periodika: problem i resheniya* [Scholarly Communication Review], 1(4), 6–12. <https://doi.org/10.18334/np1423>
- Kuleshova, A. V., Chekhovich, Yu. V., & Belenkaya, O. S. (2019). Walking the razor's edge: how to avoid self-plagiarism when you recycle your texts. *Nauchnyi Redaktor i Izdatel'* [Science Editor and Publisher], 4(1-2), 45–51. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2019-1-2-45-51>
- Nozhevnikova, E. G. (2018). Open review: essence, perspectives, challenges of organization. *Nauchnyi Redaktor i Izdatel'* [Science Editor and Publisher], 3(1–2), 33–37. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2018-1-2-33-37>
- Raitskaya, L., & Tikhonova, E. (2019). The Top 100 Cited Discourse Studies: An Update. *Journal of Language and Education*, 5(1), 4–15. <https://doi.org/10.17323/2411-7390-2019-5-1-4-15>
- Rushby, N. J. (2017). Publication ethics — moral principles and cultural dissonance. *Nauchnyi Redaktor i Izdatel'* [Science Editor and Publisher], 2(2-4), 107–112. <https://doi.org/10.24069/2542-0267-2017-2-4-107-112>

Сравнение возможностей логистической регрессии и искусственных нейронных сетей в прогнозировании результатов исследования на малой выборке

Базылев Владлен Владленович

Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии

Министерства здравоохранения России

Адрес: 440071, город Пенза, ул. Стасова, дом 6

E-mail: cardio58@yandex.ru

Карнахин Вадим Александрович

Федеральный центр сердечно-сосудистой хирургии

Министерства здравоохранения России

Адрес: 440071, город Пенза, ул. Стасова, дом 6

E-mail: vkhin@mail.ru

В настоящее время все чаще предпринимаются попытки сравнивать различные количественные модели для решения конкретных задач классификации данных. При этом в литературе отсутствуют данные о сравнении математических моделей в условиях малых выборок и сложных клинических ситуаций. **Цель работы.** Сравнить производительность моделей искусственных нейронных сетей и логистической регрессии в прогнозировании результатов исследования в условиях малой выборки. **Материалы и методы.** В симуляцию включена группа больных из 50 человек, которым была выполнена пластическая операция на митральном клапане. Для симуляции выбраны пять независимых переменных: пол, возраст, индекс массы тела, методика аппроксимации папиллярных мышц. Зависимая переменная – регургитация на митральном клапане в отдаленном периоде. **Результаты.** По данным логистической регрессии возник феномен разделения данных и получена огромная среднеквадратичная ошибка. По результатам анализа ROC-кривой выявлена зависимость между предиктором возраст и регургитацией на митральном клапане, площадь под кривой говорит о среднем уровне взаимосвязи. Результаты анализа предикторов с помощью искусственных нейронных сетей указывают на то, что основной вклад в качестве предиктора отсутствия регургитации оказывает процедура аппроксимации папиллярных мышц. С помощью теста De-Long проведено сравнение ROC-кривых регрессии и нейронных сетей по фактору возраст: $z = 10.71$, $p < 0,0001$, выявлены статистически значимые различия, что говорит о преимуществе ИСН в выявлении предикторов. **Заключение.** При малой выборке с небольшим количеством событий искусственные нейронные сети имеют преимущество над другими методиками при определении предикторов влияния на зависимую переменную.

Ключевые слова: искусственные нейронные сети, логистическая регрессия, статистика, выборка, математическая модель, регрессия

Введение

Прогностические модели искусственных нейронных сетей (ИСН) и логистической регрессии используются в различных областях медицины для решения различных задач (Han, 2018; García-Reiriz, 2007; Bhatikar, 2005; Zhang, 1998; Waisman, 2019; Cireşan, 2012; Parisi, 2019). ИСН, создание которых было вдохновлено нейробиологией и архитектурой человеческого мозга являются непараметрическими методами распознавания образов, кото-

рые выявляют скрытые связи между зависимыми и независимыми переменными (Haykin, 1999; Lobo, 2018; Bazrafkan, 2018; Plis, 2018; Soltoggio, 2018; Parisi, 2019; Vellappally, 2019; Hyvärinen, 2000). В последние годы нейронные сети получили широкое распространение во многих дисциплинах науки и медицины. Модели нейронных сетей могут учиться на примерах, включать большое количество переменных и предоставлять адекватный и быстрый ответ на новые входящие данные (Tavanaei, 2019; Kulkarni, 2018; Graves, 2005; Boutin,

2018; Zhang, 2018; Coninck, 2018; Wideman, 2018). В настоящее время все чаще предпринимаются попытки сравнивать различные количественные модели для решения конкретных задач классификации данных (Sargent, 2001; Dreiseitl, 2002; Zurada, 1994). D.J. Sargent (Sargent, 2001) представил метаанализ, сравнив ИНС с регрессионными моделями в 28 исследованиях и обнаружил, что в 36% случаев ИНС оказались более эффективны, чем регрессионные модели. Логистическая регрессия обладала преимуществом в 14% работ, в оставшихся 50% исследований производительность моделей была одинаковой. S. Dreiseitl (Dreiseitl, 2002) проанализировал 72 статьи, сравнивая ИНС с логистической регрессией и обнаружил преимущество нейронных сетей в 18% случаев, а логистической регрессии только в 1%, в 42% случаев не было никакой разницы между двумя моделями. При этом в литературе отсутствуют данные о сравнении математических моделей в условиях малых выборок и сложных клинических ситуаций. Для ответа на вопрос о преимуществе в прогнозировании результатов работы при малых выборках выполнено симуляционное исследование.

Цель работы: сравнить производительность моделей ИНС и логистической регрессии в прогнозировании результатов исследования в условиях малой выборки.

Материалы и методы

Логистическая регрессия

Логистическая регрессия — это статистическая модель, используемая для предсказания вероятности возникновения некоторого события путём подгонки данных к логистической кривой. Методика используется для определения предсказания вероятности возникновения некоторого события по значениям множества признаков.

Логарифм правдоподобия логистической регрессии имеет вид:

$$L(\beta) = \sum_{i=1}^n l_i(\beta)$$

где, β - вектор параметров

Искусственные нейронные сети. Многослойный перцептрон

Перцептрон представляет собой сеть формальных

нейронов МакКаллока и Питтса, состоящую из нескольких последовательно соединенных слоев (Wang, 2017). Входной слой нейронов состоит из сенсорных элементов, выполняет функцию приема и распространения по сети входной информации. Затем идет один или несколько скрытых слоев. Все нейроны в скрытом слое имеют несколько входов, сообщающихся с выходами нейронов предыдущего слоя и один выход. Задача нейрона состоит в вычислении взвешенной суммы его входов с дальнейшим преобразованием ее в выходной сигнал. Нейроны суммируют поступающие к ним сигналы от нейронов предыдущего уровня иерархии с весами, определяемыми состояниями синапсов, и формирует ответ, если полученная сумма выше порогового значения. Сеть переводит входной образ, определяющий степени возбуждения нейронов самого нижнего уровня иерархии, в выходной образ, определяемый нейронами самого верхнего уровня. Возбуждение нейрона на верхнем уровне говорит о принадлежности входного образа к той или иной категории. Процедура многослойного перцептрона создает прогностическую модель для одной или нескольких зависимых переменных на основании значений переменных предикторов (Esfandiari, 2017).

Проведено симуляционное исследование для оценки эффективности выявления предикторов с помощью логистической регрессии и ИНС. С целью усложнения работы прогностических моделей взята малая выборка больных. В симуляцию включена группа больных из 50 человек, которым была выполнена пластическая операция на митральном клапане. Для симуляции выбраны пять независимых переменных: пол, возраст, индекс массы тела (ИМТ), методика аппроксимации папиллярных мышц. Две переменных – пол и аппроксимация папиллярных мышц – категориальные, все остальные непрерывные. Зависимая переменная – регургитация на митральном клапане в отдаленном периоде. Число событий в зависимой переменной - 4. В симуляции получилась малая выборка с небольшим количеством событий. Все случаи регургитации произошли в группе больных, где не была выполнена аппроксимация папиллярных мышц. На лицо феномен сепарации данных, что значительно усложняет работу модели логистической регрессии. Все случаи рецидива митральной недостаточности произошли у больных старше 60 лет, хотя возраст не является предиктором появления повторной регургитации по литературным данным. Таким образом, выявление предикторов в такой ситуации представляется трудной задачей. Клинико-демографические характеристики по изучаемым переменным представлены в таблице 1.

Таблица 1

Клинико-демографические характеристики больных

Фактор	N=50, n; % (M±SD)
Мужчины	43(86%)
Возраст	59,8±6,4
ИМТ	29,9±3,4
Аппроксимация	4(8%)

Поиск предикторов выполнен с помощью множественной логистической регрессии и многослойного перцептрона. Алгоритм реализован с помощью SPSS версии 23 (SPSS, Chicago, IL, USA).

Результаты

Согласно результатам, пол, ИМТ - статистически незначимые факторы ($p=1,1$ и $0,6$ соответственно). Возраст, несмотря на то, что только у больных старше 60 лет произошло событие, статистически незначимый фактор ($p=0,2$). Как и предполагалось, в случае аппроксимации возник феномен разделения данных и получена огромная среднеквадратичная ошибка. Несмотря на то, что фактор, возможно, значимый, невозможно интерпретировать данные логистической регрессии.

ROC-кривая в отношении предиктора возраст представлена на рисунке 1.

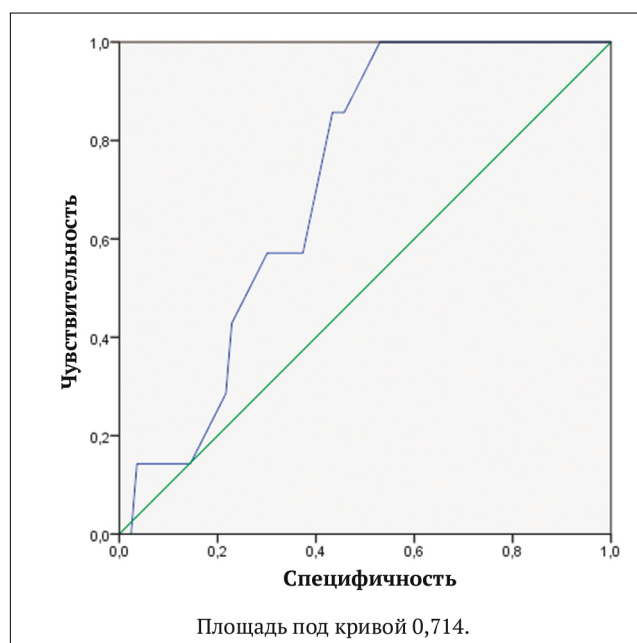


Рисунок 1. ROC кривая. Логистическая регрессия. Предиктор возраст

По результатам анализа ROC-кривой выявлена зависимость между предиктором возраст и регургитацией на митральном клапане, площадь под кривой говорит о среднем уровне взаимосвязи.

Искусственные нейронные сети. Многослойный перцептрон

Результаты анализа предикторов с помощью ИСН указывают на то, что основной вклад в качестве предиктора отсутствия регургитации оказывает

Таблица 2

Логистическая регрессия

Предиктор	B	Среднеквадратичная ошибка	Значимость	Exp(B)	Нижняя граница 95% ДИ	Верхняя граница 95% ДИ
Возраст	0,097	0,08	0,226	1,102	0,942	1,290
Пол	0,098	1,251	0,938	1,102	0,095	12,811
ИМТ	-0,059	0,127	0,642	0,943	0,735	1,208
Аппроксимация	-19,140	6086,496	0,000	0,000	0,000	-

Примечание. Exp(B) – отношение шансов, ДИ – доверительный интервал.

Таблица 3

Важность независимых переменных

Предиктор	Важность	Нормализованная важность, %
Пол	0,073	17,1%
Возраст	0,393	94,3%
ИМТ	0,109	25,6%
Аппроксимация	0,426	100%

процедура аппроксимации папиллярных мышц. ИМТ и пол не оказывают значимого влияния на регургитацию в отдаленном периоде. Фактор возраст находится на втором месте по значимости влияния на зависимую переменную. ROC-кривая чувствительности и специфичности предиктора возраст многослойного перцептрона представлена на рисунке 2.

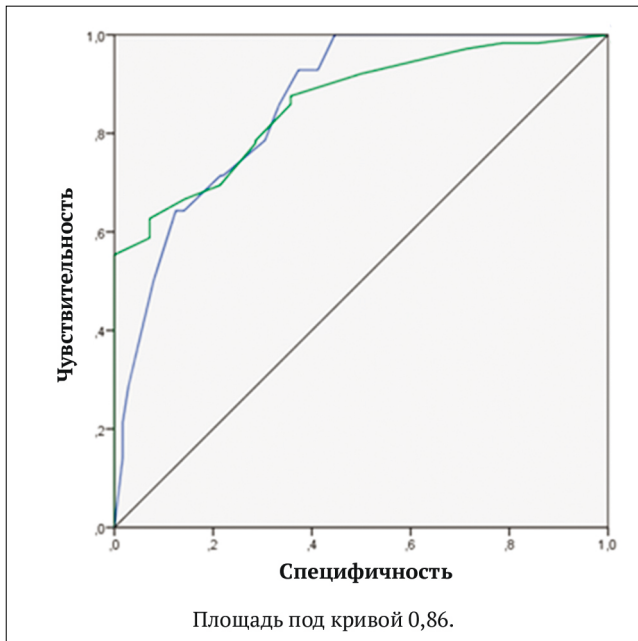


Рисунок 2. ROC кривая. Нейронные сети. Предиктор возраст

ROC кривая указывает нам на высокую взаимосвязь предиктора возраст и зависимой переменной (площадь под кривой 0,86).

С помощью теста De-Long проведено сравнение ROC-кривых регрессии и нейронных сетей по фактору возраст: $z = 10.71$, $p < 0,0001$, выявлены статистически значимые различия, что говорит о преимуществе ИНС в выявлении предикторов.

Таким образом, логистическая регрессия не позволила выявить ни одного значимого предиктора митральной регургитации после пластики клапана из-за феномена сепарации данных, а ИНС позволили выделить два предиктора с высоким уровнем взаимосвязи.

Обсуждение

Клиническая статистика имеет ряд особенностей. Появляются все новые и новые методики лечения, которые на первый взгляд очень эффективны, но количество наблюдений невелико. Перед исследо-

вателем возникает проблема, как доказать свою правоту на малой выборке больных (Носовский, 2013).

Вторая проблема, которая стоит перед исследователем – это малое число событий в выборке, и можно ли в этом случае использовать логистическую регрессию. Как правило, редкая частота событий связана именно с малой выборкой. При увеличении количества больных в группе проблема исчезает сама собой. При редкой частоте событий в малой или большой выборке не рекомендовано использовать логистическую регрессию из-за выраженного смещения оценки максимального правдоподобия (King, 2001). Логистическая регрессия может резко недооценивать вероятность редких событий.

Третья проблема – это феномен разделения данных. Впервые о разделении данных сообщил Albert в 1984 году. Феномен представляет собой, когда один или несколько предикторов оказывают сильное влияние на ответ и, следовательно, прекрасно предсказывают ожидаемый результат. Разделение может быть полным или квази-полным (Anderson, 1984). Сепарация чаще всего происходит при наличии сильных предикторов при небольших размерах выборок. Вероятность разделения выше для категориальных предикторов, чем для непрерывных (Heinze, 2002). В таком случае логистический анализ приводит необъективной оценке коэффициента регрессии, который порой приобретает огромные значения (Schaefer, 1983).

Решением для данных проблем может служить использование ИНС. ИНС часто позиционируются как инструмент, который может помочь проанализировать причинно-следственные связи в сложных системах в рамках больших и малых объемов данных (Pasini, 2006; Maddox, 2014; Fan, 2018; Varikuti, 2018).

Таким образом, нами была поставлена задача на примере симуляционной клинической модели определить преимущество использования ИНС над логистической регрессией в сложных условиях для анализа. Модель была сформирована из реальных больных, целенаправленно взят один фактор (аппроксимация папиллярных мышц), который по литературным данным может служить предиктором отсутствия митральной регургитации (Matsui, 2005). Выборка для анализа малая, всего 50 больных, с небольшим количеством событий – 4. Все события произошли в группе больных с аппроксимацией, возник феномен разделения данных. Случайным образом оказалось, что все больные с событием

старше 60 лет. В данном случае получилась чрезвычайно сложная ситуация для исследователя. Логистическая регрессия не справилась с разделением данных, был получен огромный коэффициент регрессии и среднеквадратичная ошибка (-19,140 и 6086,496 соответственно) для основного предиктора. Остальные предикторы статистически не значимы. Нейронная сеть определила, что важным фактором является аппроксимация папиллярных мышц, несмотря на разделение данных, но и указала на значимость возраста больных. Площадь под кривой ROC анализа (0,86) также указала на высокую связь между возрастом и регургитацией на митральном клапане. Для предиктора аппроксимация мы целенаправленно не приводим ROC кривые, так как он представляет собой дихотомическую переменную. Для бинарных данных возможность построения кривых ROC анализа остается дискуссионным вопросом. Многие авторы ставят под сомнение корректность анализа полученных результатов (Anjali, 2014; Bamber, 1975; Carole, 2014; DeLong, 1988; Demler, 2011). Таким образом, в сложной клинической ситуации ИНС позволили преодолеть феномен разделения данных и выявить важность предикторов на малой выборке, при использовании других методик не исключена ошибка. Кроме того, с помощью теста De-Long удалось установить статистически значимые отличия между ROC-кривыми по методике логистической регрессии и ИНС, что говорит о преимуществе нейронных сетей в прогнозировании осложнений клинического исследования. ИНС более высокую специфичность при чувствительности 95%, что является важным фактором, так как клинические наблюдатели предпочитают на более высоких уровнях чувствительности. Полученные результаты коррелируют с исследованиями с небольшими выборками, где для поиска предикторов использовались как ИНС, так и логистическая регрессия (Song, 2004). Преимущества ИНС подтверждают и проведенные метаанализы в различных областях медицины (Hassanipour, 2019, p. 244-250; Adavi, 2016, p. 312; Parsaeian, 2012; Lang, 1997; Ottenbacher, 2004; Eftekhari, 2005).

Тем не менее, применение ИНС не часто встречается в клинических работах по медицине, хотя с небольшими выборками приходится сталкиваться большинству практикующих исследователей, изучающих осложнения после операций.

Заключение

При малой выборке с небольшим количеством событий СИН имеют преимущество над другими ме-

тодиками при определении предикторов влияния на зависимую переменную.

ИНС позволяет нивелировать феномен разделения данных.

Необходимо более широко использовать методику в медицинской статистике.

Литература

- Носовский, А. М., Пихлак, А. Э., Логачев, В. А., Чурсинова, И. И., & Мутьева Н.А. (2013). Статистика малых выборок в медицинских исследованиях. *Российский медицинский журнал*, 6.
- Adavi, M., Salehi, M., & Roudbari, M. (2016). Artificial neural networks versus bivariate logistic regression in prediction diagnosis of patients with hypertension and diabetes. *Medical Journal of The Islamic Republic of Iran*, 30, 312.
- Albert, A., & Anderson, J. A. (1984). On the existence of maximum likelihood estimates in logistic regression models. *Biometrika*, 71(1), 1–10.
- Anjali, D. N., & Bossaerts, P. (2014). Risk and Reward Preferences under Time Pressure. *Review of Finance*, 18, 999–1022.
- Bamber, D. (1975). The Area above the Ordinal Dominance Graph and the Area below the Receiver Operating Characteristic Graph. *Journal of Mathematical Psychology*, 12, 387–415.
- Bazrafkan, S., Thavalengal, S., & Corcoran, P. (2018). An end to end Deep Neural Network for iris segmentation in unconstrained scenarios. *Neural Networks*, 106, 79–95. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.06.01>
- Bhatikar, S. R., DeGroff, C., & Mahajan, R. L. (2005). A classifier based on the artificial neural network approach for cardiologic auscultation in pediatrics. *Artificial Intelligence in Medicine*, 33(3), 251–260. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2004.07.008>
- Boutin, A., Pinsard, B., Boré, A., Carrier, J., Fogel, S. M., & Doyon, J. (2018). Transient synchronization of hippocampo-striato-thalamo-cortical networks during sleep spindle oscillations induces motor memory consolidation. *NeuroImage*, 169, 419–430. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.066>
- Carole, C-F. and T.J. Putnins. (2014). Stock Price Manipulation: Prevalence and Determinants. *Review of Finance*, 18, 23–66.
- Cireşan, D. (2012). Multi-column deep neural network for traffic sign classification. *Neural Networks*, 32, 333–338. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2012.02.023>
- Coninck, E. De, Bohez, S., Leroux, S., Verbelen, T., Vankeirsbilck, B., Simoens, P., & Dhoedt, B. (2018).

- DIANNE: a modular framework for designing, training and deploying deep neural networks on heterogeneous distributed infrastructure. *Journal of Systems and Software*, 141, 52–65. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.03.032>
- DeLong, E. R., DeLong, D. M., & Clarke-Pearson, D. L. (1988). Comparing areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics*, 44, 837–845
- Demler, O. V., Pencina, M. J., & D'Agostino, R. B. Sr. (2011). Equivalence of improvement in area under ROC curve and linear discriminant analysis coefficient under assumption of normality. *Statistics in Medicine*, 30, 1410–1418.
- Dreiseitl, S., & Ohno-Machado, L. (1999). Logistic regression and artificial neural network classification models: a methodology review. *Journal of Biomedical Informatics*, 35, 352–359;
- Eftekhari, B., Mohammad, K., Ardebili, H. E., Ghodsi, M., & Ketabchi, E. (2005). Comparison of artificial neural network and logistic regression models for prediction of mortality in head trauma based on initial clinical data. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 5, 3.
- Esfandiari, K., Abdollahi, F., & Talebi, H. A. (2017). Adaptive near-optimal neuro controller for continuous-time nonaffine nonlinear systems with constrained input. *Neural Networks*, 93, 195–204.
- Fan, Y., Huang, X., Wang, Z., & Li, Y. (2018). Global dissipativity and quasi-synchronization of asynchronous updating fractional-order memristor-based neural networks via interval matrix method. *Journal of the Franklin Institute*, 355(13), 5998–6025. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2018.05.058>
- García-Reiriz, A., Damiani, P. C., & Olivieri, A. C. (2007). Analysis of amoxicillin in human urine by photo-activated generation of fluorescence excitation-emission matrices and artificial neural networks combined with residual bilinearization. *Analytica Chimica Acta*, 588(2), 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.02.020>
- King, G., & Zeng, L. (2001). Logistic Regression in Rare Events Data. *Political Analysis*, 9, 137–163.
- Graves, A., & Schmidhuber, J. (2005). Framewise phoneme classification with bidirectional LSTM and other neural network architectures. *Neural Networks*, 18(5–6), 602–610. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2005.06.042>
- Hassanipour, S., Ghaem, H., Arab-Zozani, M., Seif, M., Fararouei, M., Abdzadeh, E., & Paydar, S. (2019). Comparison of artificial neural network and logistic regression models for prediction of outcomes in trauma patients: A systematic review and meta-analysis. *Injury*, 50(2), 244–250. <http://doi.org/10.1016/j.injury.2019.01.007>
- Haykin, S. (1999). *Neural networks: a comprehensive foundation*. Upper Saddle River
- Heinze, G., & Schemper, M. A. (2002). Solution to the problem of separation in logistic regression. *Statistics in Medicine*, 21(16), 2409–19. <https://doi.org/10.1002/sim.1047>
- Han, C., Niu, Y., Pang, T., & Xia, Z. (2018). Intelligent anti-jamming communication based on the modified Q-learning. *Procedia Computer Science*, 131, 1023–1031. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.248>
- Hyvärinen, A., & Oja, E. (2000). Independent component analysis: algorithms and applications. *Neural Networks*, 13, 411–430. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(00\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00026-5)
- Kulkarni, S. R., & Rajendran, B. (2018). Spiking neural networks for handwritten digit recognition—Supervised learning and network optimization. *Neural Networks*, 103, 118–127. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.03.019>
- Lang, E., Pitts, L., Damron, S., & Rutledge, R. (1997). Outcome after severe head injury: an analysis of prediction based upon comparison of neural network versus logistic regression analysis. List of issues. *Neurological Research*, 19(3), 274–80.
- Lobo, J. L., Laña, I., Del Ser, J., Bilbao, M. N., & Kasabov, N. (2018). Evolving Spiking Neural Networks for online learning over drifting data streams. *Neural Networks*, 108, 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.07.014>
- Maddox, S. A., Watts, C. S., & Schafe, G. E. (2014). DNA methyltransferase activity is required for memory-related neural plasticity in the lateral amygdala. *Neurobiology of Learning and Memory*, 107, 93–100. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2013.11.008>
- Matsui, Y., Suto, Y., Shimura, S., Fukada, Y., Naito, Y., Yasuda, K., & Sasaki, S. (2005). Impact of papillary muscles approximation on the adequacy of mitral coaptation in functional mitral regurgitation due to dilated cardiomyopathy. *Annals of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 9, 164–171
- Ottenbacher, K. J., Linn, R. T., Smith, P. M., Illig, S. B., Mancuso, M., & Granger, C. V. (2004). Comparison of logistic regression and neural network analysis applied to predicting living setting after hip fracture. *Annals Epidemiology*, 14(8), 551–9.
- Parisi, G. I., Kemker, R., Part, L. J., Kanan, C., & Wermter, S. (2019). Continual lifelong learning with neural networks: A review. *Neural Networks*, 113, 54–71. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.01.012>
- Parsaeian, M., Mohammad, K., Mahmoudi, M., & Zeraati, H. (2012). Comparison of logistic regression and artificial neural network in low back pain prediction: second national health survey. *Medical Journal of The Islamic Republic of Iran*, 41(6), 86–92
- Pasini, A., Lorè, M., & Ameli, F. (2005). Neural network

- modelling for the analysis of forcings/temperatures relationships at different scales in the climate system. *Ecological Modelling*, 191, 58–67.
- Plis, S. M., Amin, M. F., Chekroud, A., Hjelm, D., Damaraju, E., Lee, H. J., Bustillo, J. R., Cho, K. H., Pearlson, G. D., & Calhoun, V. D. (2018). Reading the (functional) writing on the (structural) wall: Multimodal fusion of brain structure and function via a deep neural network based translation approach reveals novel impairments in schizophrenia. *NeuroImage*, 181, 734–747. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.07.047>
- Sargent, D.J. (2001). Comparison of artificial neural networks with other statistical approaches: results from medical data sets. *Cancer*, 91(8), 1636–1642. 13.
- Schaefer, R.L. (1983). Bias correction in maximum likelihood logistic regression. *Statistics in Medicine*, 2(1), 71–78. <https://doi.org/10.1002/sim.4780020108>
- Song, J. H., Venkatesh, S. S., Conant, E. A., Arger, P. H., & Sehgal, C. M. (2005). Comparative analysis of logistic regression and artificial neural network for computer-aided diagnosis of breast masses. *Academic Radiology*, 12(4), 487–495. <http://doi.org/10.1016/j.acra.2004.12.016>
- Soltoggio, A., Stanley, K. O., & Risi, S. (2018). Born to learn: The inspiration, progress, and future of evolved plastic artificial neural networks. *Neural Networks*, 108, 48–67. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.07.013>
- Tavanaei, A., Ghodrati, M., Kheradpisheh, S. R., Masquelier, T., & Maida, A. (2019). Deep learning in spiking neural networks. In *Neural Networks*, 111, 47–63. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.12.002>
- Varikuti, D. P., Genon, S., Sotiras, A., Schwender, H., Hoffstaedter, F., Patil, K. R., Jockwitz, C., Caspers, S., Moebus, S., Amunts, K., Davatzikos, C., & Eickhoff, S. B. (2018). Evaluation of non-negative matrix factorization of grey matter in age prediction. *NeuroImage*, 173, 394–410. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.03.007>
- Vellappally, S., Al Kheraif, A. A., Anil, S., & Wahba, A. A. (2019). IoT medical tooth mounted sensor for monitoring teeth and food level using bacterial optimization along with adaptive deep learning neural network. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 135, 672–677. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.11.078>
- Wang, J., Ling, C., & Gao, J. (2017). CNNdel: Calling Structural Variations on Low Coverage Data Based on Convolutional Neural Networks. *Journal of Biomedical Informatics*, 6375059.
- Waisman, A., La Greca, A., Möbbs, A. M., Scarafia, M. A., Santín Velazque, N. L., Neiman, G., Moro, L. N., Luzzani, C., Sevlever, G. E., Guberman, A. S., & Miriuka, S. G. (2019). Deep Learning Neural Networks Highly Predict Very Early Onset of Pluripotent Stem Cell Differentiation. *Stem Cell Reports*, 12(4), 845–859. <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2019.02.004>
- Wideman, C. E., Jardine, K. H., & Winters, B. D. (2018). Involvement of classical neurotransmitter systems in memory reconsolidation: Focus on destabilization. *Neurobiology of Learning and Memory*, 156, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2018.11.001>
- Zhang, G., Eddy Patuwo, B., Y. Hu, M. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, 14(1), 35–62. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(97\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(97)00044-7)
- Zhang, Y., Ye, D., & Liu, Y. (2018). Robust locally linear embedding algorithm for machinery fault diagnosis. *Neurocomputing*, 273, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.07.048>
- Zurada, J., Malinowski, A., Cloete, A. (1994). Sensitivity analysis for minimization of input dimension for feedforward neural networks. Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 6, 447–50. <https://doi.org/10.1109/ISCAS.1994.409622>

Comparison of the Possibilities of Logistic Regression and Artificial Neural Networks in Predicting the Results of Research on f Small Sample

Vladlen V. Bazylev

Federal Center Cardiovascular Surgery
6, Stasova str., Penza, 440071, Russian Federation
E-mail: cardio58@yandex.ru

Vadim A. Karnakhin

Federal Center Cardiovascular Surgery
6, Stasova str., Penza, 440071, Russian Federation
E-mail: vkhin@mail.ru

Currently, attempts are increasingly being made to compare various quantitative models to solve specific data classification problems. Moreover, in the literature there is no data on the comparison of mathematical models in small samples and complex clinical situations. Purpose of work. Compare the performance of artificial neural network models and logistic regression in predicting research results in a small sample. Materials and methods. The simulation included a group of patients of 50 people who underwent plastic surgery on the mitral valve. Five independent variables were selected for the simulation: gender, age, body mass index, and papillary muscle approximation technique. The dependent variable is regurgitation on the mitral valve in a distant period. Results. According to the logistic regression, a phenomenon of data separation arose and a huge mean square error was obtained. According to the analysis of the ROC curve, a relationship was revealed between the predictor age and regurgitation on the mitral valve, the area under the curve indicates the average level of relationship. The results of the analysis of predictors using artificial neural networks indicate that the main contribution as a predictor of the absence of regurgitation is made by the approximation of papillary muscles. Using the De-Long test, we compared the ROC regression curves and neural networks by age factor: $z = 10.71$, $p < 0.0001$, statistically significant differences were revealed, which indicates the advantage of STI in identifying predictors. Conclusion. In a small sample with a small number of events, artificial neural networks have an advantage over other methods in determining predictors of influence on the dependent variable.

Keywords: artificial neural networks, logistic regression, statistics, sampling, mathematical model, regression

References

- Nosovskiy, A. M., Pihlak, A. E., Logachev, V. A., Churcinova, I. I., & Muteva, N.A. (2013). Statistics of small samples in medical research. *Rossiiskiy medicinskiy gurnal [Russian medical journal]*, 6.
- Adavi, M., Salehi, M., & Roudbari, M. (2016). Artificial neural networks versus bivariate logistic regression in prediction diagnosis of patients with hypertension and diabetes. *Medical Journal of The Islamic Republic of Iran*, 30, 312.
- Albert, A., & Anderson, J. A. (1984). On the existence of maximum likelihood estimates in logistic regression models. *Biometrika*, 71(1), 1–10.
- Anjali, D. N., & Bossaerts, P. (2014). Risk and Reward Preferences under Time Pressure. *Review of Finance*, 18, 999–1022.
- Bamber, D. (1975). The Area above the Ordinal Dominance Graph and the Area below the Receiver Operating Characteristic Graph. *Journal of Mathematical Psychology*, 12, 387–415.
- Bazrafkan, S., Thavalengal, S., & Corcoran, P. (2018). An end to end Deep Neural Network for iris segmentation in unconstrained scenarios. *Neural Networks*, 106, 79–95. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.06.01>
- Bhatikar, S. R., DeGroff, C., & Mahajan, R. L. (2005). A classifier based on the artificial neural network approach for cardiologic auscultation in pediatrics. *Artificial Intelligence in Medicine*, 33(3), 251–260. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2004.07.008>
- Boutin, A., Pinsard, B., Boré, A., Carrier, J., Fogel, S. M., & Doyon, J. (2018). Transient synchronization of hippocampo-striato-thalamo-cortical networks during sleep spindle oscillations induces motor memory consolidation. *NeuroImage*, 169, 419–430.

How to Cite

Bazylev, V. V., & Karnakhin, V. A. (2019). Comparison of the Possibilities of Logistic Regression and Artificial Neural Networks in Predicting the Results of Research on f Small Sample. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s238>

- <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2017.12.066>
- Carole, C-F. and T.J. Putnins. (2014). Stock Price Manipulation: Prevalence and Determinants. *Review of Finance*, 18, 23-66.
- Cireşan, D. (2012). Multi-column deep neural network for traffic sign classification. *Neural Networks*, 32, 333-338. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2012.02.023>
- Coninck, E. De, Bohez, S., Leroux, S., Verbelen, T., Vankeirsbilck, B., Simoens, P., & Dhoedt, B. (2018). DIANNE: a modular framework for designing, training and deploying deep neural networks on heterogeneous distributed infrastructure. *Journal of Systems and Software*, 141, 52-65. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.03.032>
- DeLong, E. R., DeLong, D. M., & Clarke-Pearson, D. L. (1988). Comparing areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach. *Biometrics*, 44, 837-845
- Demler, O. V., Pencina, M. J., & D'Agostino, R. B. Sr. (2011). Equivalence of improvement in area under ROC curve and linear discriminant analysis coefficient under assumption of normality. *Statistics in Medicine*, 30, 1410-1418.
- Dreiseitl, S., & Ohno-Machado, L. (1999). Logistic regression and artificial neural network classification models: a methodology review. *Journal of Biomedical Informatics*, 35, 352-359;
- Eftekhari, B., Mohammad, K., Ardebili, H. E., Ghodsi, M., & Ketabchi, E. (2005). Comparison of artificial neural network and logistic regression models for prediction of mortality in head trauma based on initial clinical data. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 5, 3.
- Esfandiari, K., Abdollahi, F., & Talebi, H. A. (2017). Adaptive near-optimal neuro controller for continuous-time nonaffine nonlinear systems with constrained input. *Neural Networks*, 93, 195-204.
- Fan, Y., Huang, X., Wang, Z., & Li, Y. (2018). Global dissipativity and quasi-synchronization of asynchronous updating fractional-order memristor-based neural networks via interval matrix method. *Journal of the Franklin Institute*, 355(13), 5998-6025. <https://doi.org/10.1016/j.jfranklin.2018.05.058>
- García-Reiriz, A., Damiani, P. C., & Olivieri, A. C. (2007). Analysis of amoxicillin in human urine by photo-activated generation of fluorescence excitation-emission matrices and artificial neural networks combined with residual bilinearization. *Analytica Chimica Acta*, 588(2), 192-199. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2007.02.020>
- King, G., & Zeng, L. (2001). Logistic Regression in Rare Events Data. *Political Analysis*, 9, 137-163.
- Graves, A., & Schmidhuber, J. (2005). Framewise phoneme classification with bidirectional LSTM and other neural network architectures. *Neural Networks*, 18(5-6), 602-610. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2005.06.042>
- Hassanipour, S., Ghaem, H., Arab-Zozani, M., Seif, M., Fararouei, M., Abdzadeh, E., & Paydar, S. (2019). Comparison of artificial neural network and logistic regression models for prediction of outcomes in trauma patients: A systematic review and meta-analysis. *Injury*, 50(2), 244-250. <http://doi.org/10.1016/j.injury.2019.01.007>
- Haykin, S. (1999). *Neural networks: a comprehensive foundation*. Upper Saddle River
- Heinze, G., & Schemper, M. A. (2002). Solution to the problem of separation in logistic regression. *Statistics in Medicine*, 21(16), 2409-19. <https://doi.org/10.1002/sim.1047>
- Han, C., Niu, Y., Pang, T., & Xia, Z. (2018). Intelligent anti-jamming communication based on the modified Q-learning. *Procedia Computer Science*, 131, 1023-1031. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.04.248>
- Hyvärinen, A., & Oja, E. (2000). Independent component analysis: algorithms and applications. *Neural Networks*, 13, 411-430. [https://doi.org/10.1016/S0893-6080\(00\)00026-5](https://doi.org/10.1016/S0893-6080(00)00026-5)
- Kulkarni, S. R., & Rajendran, B. (2018). Spiking neural networks for handwritten digit recognition—Supervised learning and network optimization. *Neural Networks*, 103, 118-127. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.03.019>
- Lang, E., Pitts, L., Damron, S., & Rutledge, R. (1997). Outcome after severe head injury: an analysis of prediction based upon comparison of neural network versus logistic regression analysis. List of issues. *Neurological Research*, 19(3), 274-80.
- Lobo, J. L., Laña, I., Del Ser, J., Bilbao, M. N., & Kasabov, N. (2018). Evolving Spiking Neural Networks for online learning over drifting data streams. *Neural Networks*, 108, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.07.014>
- Maddox, S. A., Watts, C. S., & Schafe, G. E. (2014). DNA methyltransferase activity is required for memory-related neural plasticity in the lateral amygdala. *Neurobiology of Learning and Memory*, 107, 93-100. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2013.11.008>
- Matsui, Y., Suto, Y., Shimura, S., Fukada, Y., Naito, Y., Yasuda, K., & Sasaki, S. (2005). Impact of papillary muscles approximation on the adequacy of mitral coaptation in functional mitral regurgitation due to dilated cardiomyopathy. *Annals of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 9, 164-171
- Ottenbacher, K. J., Linn, R. T., Smith, P. M., Illig, S. B., Mancuso, M., & Granger, C. V. (2004). Comparison of logistic regression and neural network analysis applied to predicting living setting after hip fracture. *Annals Epidemiology*, 14(8), 551-9.

- Parisi, G. I., Kemker, R., Part, L. J., Kanan, C., & Wermter, S. (2019). Continual lifelong learning with neural networks: A review. *Neural Networks*, 113, 54–71. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2019.01.012>
- Parsaeian, M., Mohammad, K., Mahmoudi, M., & Zeraati, H. (2012). Comparison of logistic regression and artificial neural network in low back pain prediction: second national health survey. *Medical Journal of The Islamic Republic of Iran*, 41(6), 86–92
- Pasini, A., Lorè, M., & Ameli, F. (2005). Neural network modelling for the analysis of forcings/temperatures relationships at different scales in the climate system. *Ecological Modelling*, 191, 58–67.
- Plis, S. M., Amin, M. F., Chekroud, A., Hjelm, D., Damaraju, E., Lee, H. J., Bustillo, J. R., Cho, K. H., Pearlson, G. D., & Calhoun, V. D. (2018). Reading the (functional) writing on the (structural) wall: Multimodal fusion of brain structure and function via a deep neural network based translation approach reveals novel impairments in schizophrenia. *NeuroImage*, 181, 734–747. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.07.047>
- Sargent, D. J. (2001). Comparison of artificial neural networks with other statistical approaches: results from medical data sets. *Cancer*, 91(8), 1636–1642. 13.
- Schaefer, R. L. (1983). Bias correction in maximum likelihood logistic regression. *Statistics in Medicine*, 2(1), 71–78. <https://doi.org/10.1002/sim.4780020108>
- Song, J. H., Venkatesh, S. S., Conant, E. A., Arger, P. H., & Sehgal, C. M. (2005). Comparative analysis of logistic regression and artificial neural network for computer-aided diagnosis of breast masses. *Academic Radiology*, 12(4), 487–495. <http://doi.org/10.1016/j.acra.2004.12.016>
- Soltoggio, A., Stanley, K. O., & Risi, S. (2018). Born to learn: The inspiration, progress, and future of evolved plastic artificial neural networks. *Neural Networks*, 108, 48–67. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.07.013>
- Tavanaei, A., Ghodrati, M., Kheradpisheh, S. R., Masquelier, T., & Maida, A. (2019). Deep learning in spiking neural networks. In *Neural Networks*, 111, 47–63. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2018.12.002>
- Varikuti, D. P., Genon, S., Sotiras, A., Schwender, H., Hoffstaedter, F., Patil, K. R., Jockwitz, C., Caspers, S., Moebus, S., Amunts, K., Davatzikos, C., & Eickhoff, S. B. (2018). Evaluation of non-negative matrix factorization of grey matter in age prediction. *NeuroImage*, 173, 394–410. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2018.03.007>
- Vellappally, S., Al Kheraif, A. A., Anil, S., & Wahba, A. A. (2019). IoT medical tooth mounted sensor for monitoring teeth and food level using bacterial optimization along with adaptive deep learning neural network. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 135, 672–677. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.11.078>
- Wang, J., Ling, C., & Gao, J. (2017). CNNdel: Calling Structural Variations on Low Coverage Data Based on Convolutional Neural Networks. *Journal of Biomedical Informatics*, 6375059.
- Waisman, A., La Greca, A., Möbbs, A. M., Scarafía, M. A., Santín Velazque, N. L., Neiman, G., Moro, L. N., Luzzani, C., Sevlever, G. E., Guberman, A. S., & Miriuka, S. G. (2019). Deep Learning Neural Networks Highly Predict Very Early Onset of Pluripotent Stem Cell Differentiation. *Stem Cell Reports*, 12(4), 845–859. <https://doi.org/10.1016/j.stemcr.2019.02.004>
- Wideman, C. E., Jardine, K. H., & Winters, B. D. (2018). Involvement of classical neurotransmitter systems in memory reconsolidation: Focus on destabilization. *Neurobiology of Learning and Memory*, 156, 68–79. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2018.11.001>
- Zhang, G., Eddy Patuwo, B., Y. Hu, M. (1998). Forecasting with artificial neural networks: The state of the art. *International Journal of Forecasting*, 14(1), 35–62. [https://doi.org/10.1016/S0169-2070\(97\)00044-7](https://doi.org/10.1016/S0169-2070(97)00044-7)
- Zhang, Y., Ye, D., & Liu, Y. (2018). Robust locally linear embedding algorithm for machinery fault diagnosis. *Neurocomputing*, 273, 323–332. <https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.07.048>
- Zurada, J., Malinowski, A., Cloete, A. (1994). Sensitivity analysis for minimization of input dimension for feedforward neural networks. Proceedings of the 2003 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 6, 447–50. <https://doi.org/10.1109/ISCAS.1994.409622>

Хирургическое лечения осложненных форм хронического панкреатита открытым стентированием панкреатического протока

Зубрицкий Владислав Феликсович

Главный клинический госпиталь МВД России

Адрес: 123060, Москва, ул. Народного Ополчения, дом 35

E-mail: zubritsky.vladislav@gmail.com

Звольская Нина Михайловна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: zvolskayanm@mgupp.ru

Левчук Александр Львович

ФГБУ «Национальный медико-хирургический Центр им. Н.И.Пирогова»

Адрес: 105203, город Москва, ул. Нижняя Первомайская, дом 70

E-mail: nmhc@mail.ru

Лаптева Елена Александровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: laptevaea@mgupp.ru

Хирургическое лечение хронического панкреатита (ХП) – одна из наиболее сложных и не решенных до настоящего времени проблем хирургической панкреатологии. Целью научной работы являлось исследование эффективности открытого стентирования панкреатического протока с целью восстановления дренажной функции протоковой системы поджелудочной железы путем создания искусственного хода в паренхиме головки поджелудочной железы, соединяющего просвет главного панкреатического протока с просветом 12-перстной кишки. В ходе исследования был теоретически обоснован, разработан и внедрен в клиническую практику новый способ хирургического лечения ХП, позволяющий восстановить поступление панкреатического сока в двенадцатиперстную кишку и эффективно купирующий острый процесс в ПЖ, поддерживаемый панкреатической протоковой гипертензией – открытое стентирование панкреатического протока. Данная технология позволяет быстро купировать болевой синдром и воспалительный процесс в поджелудочной железе, восстановить пассаж панкреатического сока в двенадцатиперстную кишку, устранить трофологические нарушения, уменьшить количество и тяжесть послеоперационных осложнений, улучшить качество жизни пациентов, исключить развитие сахарного диабета непосредственно после операции.

Ключевые слова: протоковая гипертензия, дренажная функция, панкреатический сок, качество жизни, панкреатогенный перитонит

Введение

Рост заболеваемости ХП в последние годы, часто сопровождающийся нетрудоспособностью и инвалидизацией больных, высокий уровень леталь-

ных исходов и неудовлетворенность результатами хирургического лечения ХП, ставят эту проблему в разряд наиболее актуальных¹ (Шалимов с соавт., 2000; Кригер с соавт., 2012; Забелин с соавт., 2009; Коханенко с соавт., 2014)².

¹ Данилов, М.В. & Федоров В.Д. (2003) Повторные и реконструктивные операции при заболеваниях поджелудочной железы: руководство для врачей. Медицина.

² Кубышкин, В. А., Козлов, И. А., & Вишневский, В. А. [и др.] (2008). Выбор способа хирургического лечения хронического панкреатита с преимущественным поражением головки поджелудочной железы. *Анналы хирургической гепатологии*, 13(3), 172.

Главной особенностью ХП является прогрессирующий междольковый фиброз, подобный тому, который наблюдается при циррозе печени. Патогенетический механизм эволюции хронического воспалительного процесса при гепатите и хроническом панкреатите в фиброз/цирроз почти идентичен. Центральная роль в фиброгенезе и в том, и в другом случае принадлежит звездчатым клеткам. Их активация происходит на фоне воспалительных изменений. Следствиями этого процесса являются постепенная гибель панкреатоцитов, сдавливание протоковой системы и потеря лобулярной архитектуры и структуры протоков ПЖ (Кригер с соавт. 2012; DiMaio, 2018).

Облитерация протока поджелудочной железы (ППЖ) и его притоков в головке поджелудочной железы (ПЖ), сдавление интрапанкреатического отдела общего желчного протока, нарушение дуоденальной проходимости из-за кистозно-воспалительной трансформации стенки двенадцатиперстной кишки, а также формирование кист и кальциноз паренхимы осложняют течение ХП в большинстве наблюдений (Данилов с соавт., 2003; Зубрицкий с соавт., 2017; Иванов с соавт., 2016).

Течение заболевания длительное, рецидивирующее. Нарастающие фиброзно-дегенеративные изменения являются необратимыми. Деление патологического процесса, протекающего в ПЖ на острый и хронический достаточно условно (Зубрицкий с соавт., 2019).

М. В. Данилов с соавт. (2003) считает, что «в большинстве случаев следует говорить не об остром и хроническом панкреатите, а о едином воспалительно-дегенеративном процессе в поджелудочной железе»

По мнению Н. Ю. Коханенко с соавт. (2014) и Н. Н. Артемьевой с соавт. (1997) в период обострения ХП можно наблюдать «клиническую картину и осложнения, типичные для острого деструктивного панкреатита». Хирургическое лечение этой формы ХП является трудной и нерешенной до настоящего времени задачей. Для непрерывно рецидивирующей болевой формы ХП характерны такие осложнениями, как асцит, плеврит, панкреатогенный перитонит, панкреатические наружные и внутренние свищи, тромбоз в системе воротной вены, пилефлебит, парапанкреатические абсцессы, сепсис, прогрессирующая потеря массы тела, крайней степенью которой являются кахексия и полная анорексия (Егоров с соавт., 2009; Кубышкин с соавт., 2006)³.

При массивном инфильтративном процессе и выраженной портальной гипертензии выполнение резекционного вмешательства не представляется возможным из-за крайне высокого риска тяжелых осложнений (Кубышкин с соавт., 2006; Ившин с соавт., 2008,). В условиях острого воспалительного процесса ни один из имеющихся на сегодняшний день методов хирургических лечения ХП не может быть надежен.

Все вмешательства, которые до настоящего времени применялись отечественными и зарубежными хирургами, имеют одно и то же «слабое звено» - панкреатикоэнтероанастомоз, являющийся основной причиной неприемлемого для плановой операции количества послеоперационных осложнений. Количество послеоперационных осложнений остается высоким даже при концентрации материала в специализированных учреждениях, достигая 33,5% (Кузин с соавт., 1985; Кубышкин с соавт., 2012).

Широкое соустье панкреатического протока с тонкой кишкой не является физиологичным и неизбежно запускает механизмы активации ферментов в зоне соустья. Возможно, вследствие анастомозита и происходит облитерация панкреатикоэнтероанастомоза (ПЕА) в отдаленные сроки после операции.

Двухэтапный способ хирургического лечения непрерывно рецидивирующей болевой формы ХП по методу Н. Н. Артемьевой и Н. Ю. Коханенко (1997) стал спасительным для самой тяжелой категории больных и наглядно показал ключевую роль панкреатической протоковой гипертензии в патогенезе непрерывно рецидивирующего обострения ХП (Коханенко, 2006).

В последнее время активно развивается эндоскопическое лечение ХП, направленное на восстановление дренажной функции протоковой системы и купирование болевого синдрома.⁴ Стандартным лечением «первой линии» в настоящее время принято считать эндоскопическое ретроградное стентирование панкреатического протока. Данная процедура является технически сложной и может оказаться невыполнимой у части пациентов с тяжелой обструкцией панкреатического протока, а также у пациентов с измененной после предшествующих хирургических вмешательств анатомией (Zubritskii et al., 2014).

Минимально инвазивные и эндоскопические вмешательства оказываются полезными у части пациентов, но они не могут устранить все имеющиеся

³ там же

⁴ там же

у больного осложнения, каждое из которых может выйти на первый план и потребовать неотложного хирургического вмешательства (Ившин с соавт., 2008; Зубрицкий с соавт., 2009; Qi-Shan Zeng, 2017).

Таким образом, ни консервативное лечение, ни «малые», ни «большие» операции в изолированном варианте не могут служить универсальным лечебным методом лечения непрерывно рецидивирующей болевой формы ХП.

В настоящее время назрела необходимость в разработке новых подходов в хирургическом лечении ХП, разработке вмешательства, надежно избавляющего пациента от болей, не сопровождающегося развитием сахарного диабета, с минимальным риском осложнений.

Цель исследования: установить клиническую эффективность операции открытого стентирования панкреатического протока (ОСПП) в лечении больных осложненными формами ХП.

Таблица 1

Распределение больных по полу и возрасту

Возраст, лет	Мужчины абс. число (%)	Женщины абс. число (%)	Итого абс. число (%)
25-35	17 (16,2%)	3 (2,8%)	20 (19,1%)
36-45	33 (31,4%)	4 (3,9%)	37 (35,3%)
46-55	27 (25,7%)	2 (1,9%)	29 (27,6%)
56-65	15 (14,3%)	1 (1%)	16 (15,2%)
66-75	0 (0%)	3 (2,8%)	3 (2,8%)
Всего:	92 (87,6%)	13 (12,4%)	105 (100%)

Таблица 2

Характер и частота осложнений ХП

Осложнение ХП	Количество осложнений	
	абс. число	%
Панкреатическая протоковая гипертензия	99	94,3 %
Билиарная гипертензия	30	28,6%
Киста ПЖ	20	19,0%
Дуоденальная непроходимость	16	15,2%
Сахарный диабет	27	25,7%

Таблица 3

Распределение больных по видам оперативных вмешательств (n=105)

Вид оперативного вмешательства	абс. число	%
ОСПП	38	36,2%
Эндоскопическое стентирование ППЖ	2	1,9%
Панкреатодуоденальная резекция (ПДР)	40	38,1%
Операция Фрея	7	6,7%
Продольная панкреатоеюностомия (ПЕС)	12	11,4%
Корпорокаудальная резекция ПЖ (ККРПЖ)	6	5,7%
Итого:	105	100%

Материалы и методы исследования

В основу работы положен анализ результатов лечения 105 больных осложненными формами хронического панкреатита (ХП). Все пациенты были оперированы по поводу осложненного ХП в трёх лечебных учреждениях: ГБУЗ МО «Мытищинская городская клиническая больница», ФКУЗ «Главный клинический госпиталь МВД России» и БМУ «Курская областная клиническая больница». При этом 40 (38,1%) больным было произведено открытое (n=38; 36,2%) или эндоскопическое (n=2; 1,9%) стентирование панкреатического протока (2010-2016 гг) и 65 (61,9%) больным выполнены дренирующие и резекционные операции (1998-2016 гг). Возраст варьировал от 29 до 69 лет (табл. 1).

У всех пациентов имели место различные осложнения ХП (табл. 2).

Были выполнены следующие виды оперативных вмешательств (табл. 3).

Все больные (n=105) были разделены на 2 группы: основную и контрольную (группу сравнения). В основную группу вошли 40 (38,1%) больных, из них 38 (36,2%) было выполнено открытое стентирование панкреатического протока (ОСПП) и 2 (1,9%) - ЭПСТ, вирсунготомия и эндоскопическое стентирование панкреатического протока. В группу сравнения вошли 65 (61,9%) пациентов после дренирующих, резекционных и резекционно-дренирующих операций. Полово-возрастной состав обеих групп был практически одинаковым, преобладали лица трудоспособного возраста от 25 до 65 лет - 97,5%.

У всех 40 больных основной группы имелась терминальная стадия функциональных нарушений по

клинической классификации ABC (Werner, Buehler 2007) что соответствовало третьей стадии «С». Стадия С2 имелась у 28 (70%) больных без диабета и стадия С3 – у 12 (30%) пациентов с диабетом (табл 4).

У всех больных основной группы имелись осложнения ХП (табл. 5). Операции по поводу осложнений панкреатита в анамнезе перенесли 16 (40%) больных основной группы.

У 27 (67,5%) больных основной группы в связи с хирургическими осложнениями ХП были выполнены следующие комбинированные вмешательства в различных сочетаниях (табл. 6).

Таблица 4

Распределение больных основной группы по этиологии и стадии ХП

Этиология ХП	Стадия ХП	абс. число	%
Алкогольный	C2	25	62,5%
	C3	11	27,5
Обструктивный	C2	3	7,5%
	C3	1	2,5%
Всего:		40	100%

Таблица 5

Характер и частота осложнений ХП у больных основной группы

Осложнение ХП	Количество осложнений	
	Абс. число	%
ППГ	40	100%
Калькулез ПЖ	39	97,5%
Билиарная гипертензия	14	35%
Дуоденальная непроходимость	12	30%
Киста ПЖ	11	27,5%
Сахарный диабет	12	30%

Таблица 6

Виды оперативных вмешательств, выполненных по поводу осложнений ХП в комбинации с ОСПП у больных основной группы

Вид оперативного вмешательства	Абс. число	%
Холецистэктомия	14	26,9%
Трансдуоденальная папиллосфинктеротомия	5	9,6%
Супрадуоденальная холедоходуоденостомия	10	19,2%
Протяженная дуоденоюностомия	9	17,3%
Освобождение 12-перстной кишки от сращений	1	1,9%
Гастроэнтеростомия по Гаккеру	2	3,9%
Дренирование кисты головки ПЖ в создаваемый канал	5	9,6%
Цистогастротомия	2	3,9%
Цистоеюностомия	1	1,9%
Наружное дренирование кисты ПЖ	2	3,9%
Спленэктомия	1	1,9%
Всего:	52	100%

Как видно из таблицы, чаще всего ОСПП выполнялось в комбинации с холецистэктомией и билиодигестивным анастомозом 29 (55,7%) от всех комбинированных вмешательств.

По поводу непрерывно рецидивирующей болевой формы ХП на фоне выраженного инфильтративного процесса или по неотложным показаниям в связи с жизнеугрожающими осложнениями были оперированы 18 (45%) больных основной группы.

Виды операций в группе сравнения (n = 65) и непосредственные результаты представлены в табл. 7.

Из общего количества больных группы сравнения (n=65) у 16 (24,6%) развились различные послеоперационные осложнения. Умерло 7 человек, общая летальность составила 10,8%. Наибольшее количество осложнений 11 (27,5%) и наибольшая летальность 6 (15%) были после ПДР. После операции Фрея и ККР ПЖ летальных исходов не было, но осложнения были у 1 (14,3%) и у 2 (33,3%) соответственно.

Частота и характер послеоперационных осложнений в группе сравнения были следующими (табл. 8).

У 4 человек послеоперационный период осложнился несостоятельностью гепатико- или панкре-

атикоеюноанастомоза, и, несмотря на повторные вмешательства, эти больные умерли вследствие прогрессирования абдоминального сепсиса. В двух случаях летальный исход наступил от массивной ТЭЛА. Среди «нелетальных» осложнений преобладал послеоперационный панкреатит (n=4), сопровождавшийся в 2 случаях разлитым и в 2 местным перитонитом. Кроме того, у 1 больного в раннем послеоперационном периоде развилось внутрибрюшное кровотечение, потребовавшее экстренной релапаротомии.

Средний койко-день после операции в контрольной группе составил 23,4±2,6.

Статистическая обработка полученного в ходе исследований цифрового материала осуществлялась при помощи стандартной статистической программы «Microsoft Excel» версия XP. При анализе данных определяли средние значения (Mean) и стандартные ошибки выборок (m), коэффициент корреляции. Для проверки достоверной разницы между средними величинами в группах и различий оцениваемых малых выборок использовали t-критерий Стьюдента с коэффициентом достоверности $p < 0,05$.

Таблица 7

Частота послеоперационных осложнений и летальность в зависимости от вида оперативного вмешательства

Вид операции	Количество больных	Количество осложнений		Количество летальных исходов	
		абс. число	%	абс. число	%
ПДР	40	11	27,5%	6	15%
Операция Фрея	7	1	14,3%	0	0%
ПЕС	12	2	16,6%	1	8,3%
ККР ПЖ	6	2	33,3%	0	0%
Всего	65	16	24,6%	7	10,8%

Таблица 8

Частота и характер послеоперационных осложнений при различных типах операций у больных группы сравнения

Осложнения	Вид оперативного вмешательства				
	ПДР n=40	ПЕС n=12	Операция Фрея n=7	ККР n=6	Всего n=65
Внутрибрюшное кровотечение	1 (2,5%)	-	-	-	1 (1,5%)
Несостоятельность ГЕА	3 (7,5%)	-	-	-	3 (4,6%)
Несостоятельность ПЕА	1 (2,5%)	-	-	-	1 (1,5%)
Распространенный перитонит	2 (5%)	1 (8,3%)	1 (14,3%)	-	4 (6,2%)
Местный перитонит	2 (5%)	1 (8,3%)	-	2 (33,3%)	5 (7,7%)
ТЭЛА	2 (5%)	-	-	-	2 (3,1%)
Итого:	11 (27,5%)	2 (16,7%)	1 (14,3%)	2 (33,3%)	16 (24,6%)

Результаты исследования

Целью открытого стентирования панкреатического протока является восстановление дренажной функции протоковой системы поджелудочной железы путем создания искусственного хода в паренхиме головки поджелудочной железы, соединяющего просвет ППЖ с просветом 12-перстной кишки. Поддержание дренажной функции обеспечивает установленный в протоке и ходе стент. Схематичное изображение этапов операции открытого стентирования панкреатического протока представлено на рисунках 1 – 4.

Для создания хода в головке ПЖ использовали специальный буж-стиллет (рис. 5).

При дуоденальной непроходимости, причиной которой являлась кистозно-воспалительная трансформация двенадцатиперстной кишки (КВТ ДПК) предпочтение отдавали протяженной дуоденоюностомии на петле тощей кишки по Ру (Tomita et al., 2012) При этом двенадцатиперстная кишка вскрывалась продольно в области верхне-горизон-

тальной и всей нисходящей части (рис. 6,7). Этот прием необходим для беспрепятственной замены панкреатического стента в последующем.

Была отработана методика эндоскопической замены панкреатического стента, которая выполнялась не реже, чем 1 раз в год и включала обязательную панкреатографию и рентгенологический контроль нового стента (рис 6-9). (Weber, 2007)

Ближайший послеоперационный период после ОСПП у всех 38 больных протекал без особенностей. У 2 больных с выраженными инфильтративными изменениями ПЖ после операции было отмечено выделение панкреатического секрета по дренажу из сумки малого сальника. Это осложнение купировалось самостоятельно и релапаротомия не потребовалась.

Однако релапаротомия была выполнена одному больному в связи с поступлением по дренажу желчи, источник поступления которой выявлен не был, но после операции желчеистечение не возобновлялось. У всех больных рана зажила первичным натя-

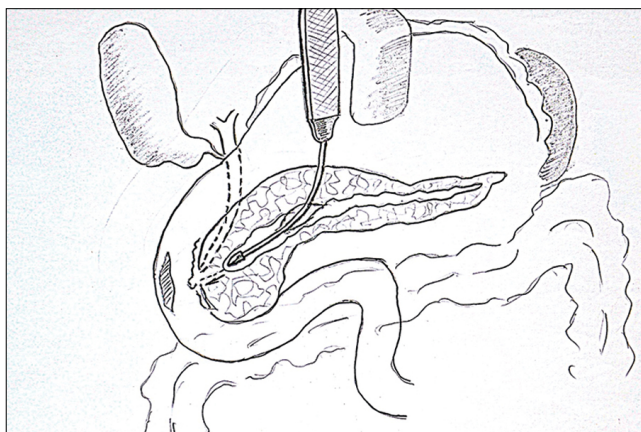


Рисунок 1. Формирование экстраанатомического хода в головке поджелудочной железы

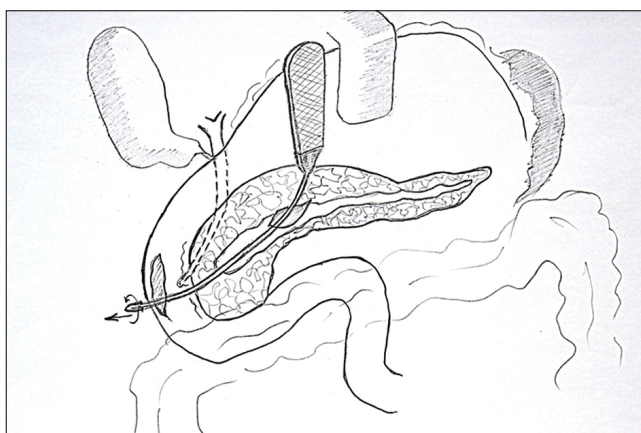
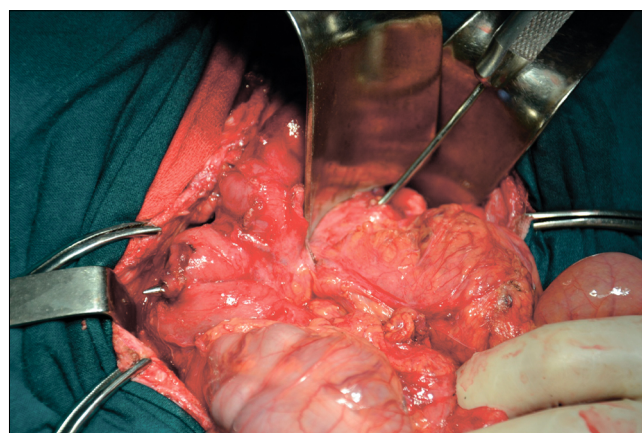


Рисунок 2. Проведение бужа-стиллета через стенку 12-перстной кишки



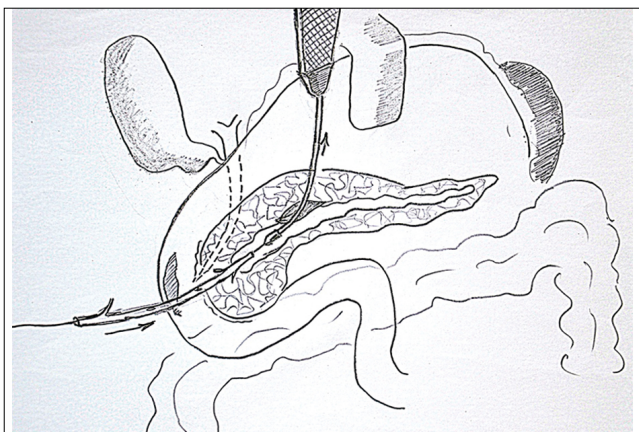


Рисунок 3. Введение стента в экстраанатомический канал в головке ПЖ

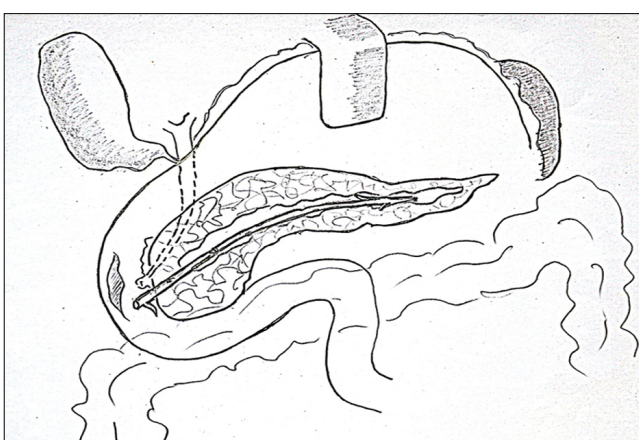
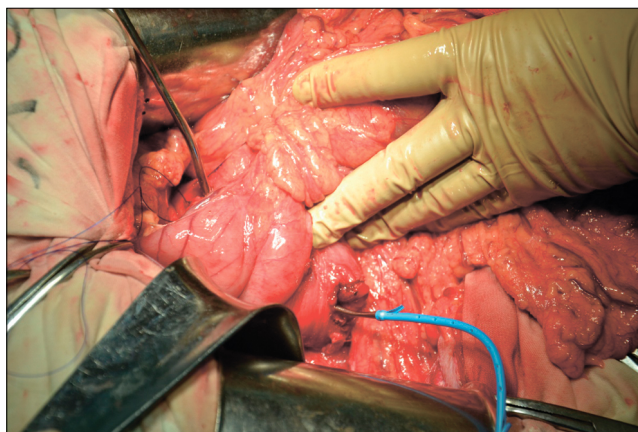


Рисунок 4. Стент установлен в канале соединяющем просвет 12-перстной кишки и панкреатический проток

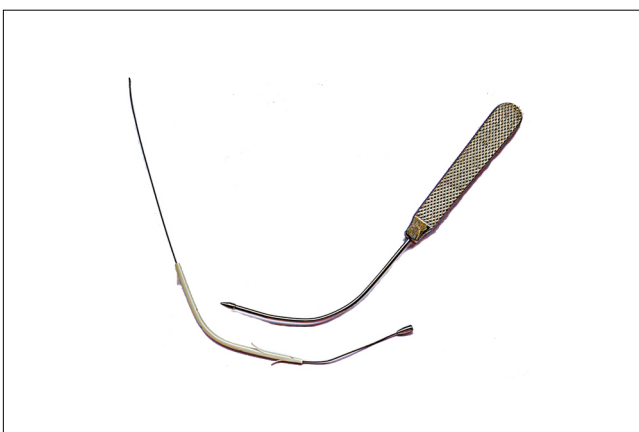
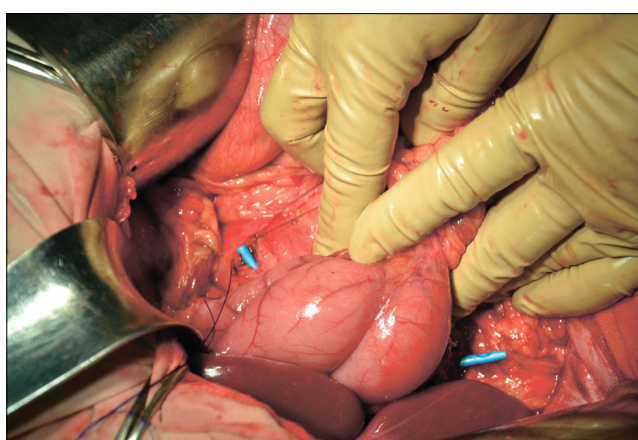


Рисунок 5. Буж-стилет со съемной головкой, использующийся для создания хода в головке ПЖ

жением. На 2-3 сутки после операции отмечалась нормализация уровня амилазы крови. Все больные выписаны на 10-14 сутки после операции в удовлетворительном состоянии. Средний койко-день после операции составил $11,3 \pm 1,5$. Летальных исходов не было.

Отдаленные результаты изучены у 36 пациентов, у 34 из них после ОСПП и у 2 после эндоскопического ретроградного стентирования панкреатического протока. Через 1 год после операции отдаленные результаты изучены у 36 человек, через 3 года – у 16, через 5 лет – у 15.

Уровень абдоминальной боли оценивался пациентами с помощью 5-балльной вербальной шкалы оценки боли (Frank et al, 1982), (рис. 10-11).

Установлено, что ОСПП эффективно купирует болевой синдром. Прибавление массы тела через 1 год после операции отмечено у 34 (94,4%), оно колебалось от 2 до 20 кг, в среднем составило $8,7 \pm 1,5$ кг.

Развития сахарного диабета в ближайшем послеоперационном периоде не отмечено ни у одного из пациентов. Течение диабета улучшилось у 2 (5,4%) пациентов, которые получали инсулин до операции и перешли на прием сахароснижающих препаратов после операции.

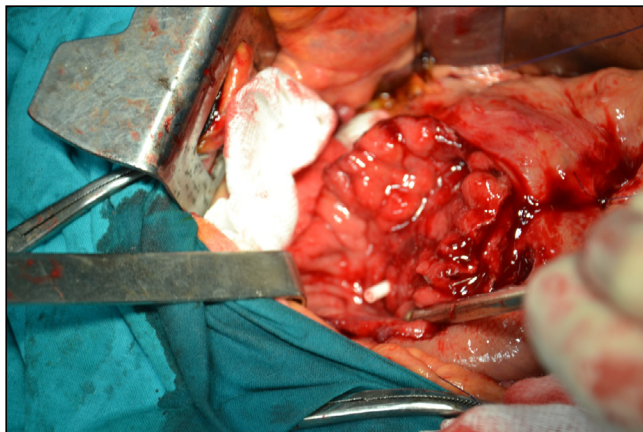


Рисунок 6. КВТ ДПК, стенка ДПК инфильтрирована, утолщена до 10мм

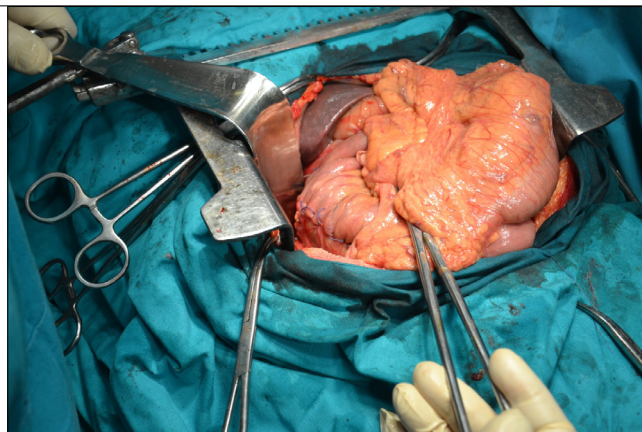


Рисунок 7. Тот же больной. Завершение протяженного дуоденоеюноанастомоза

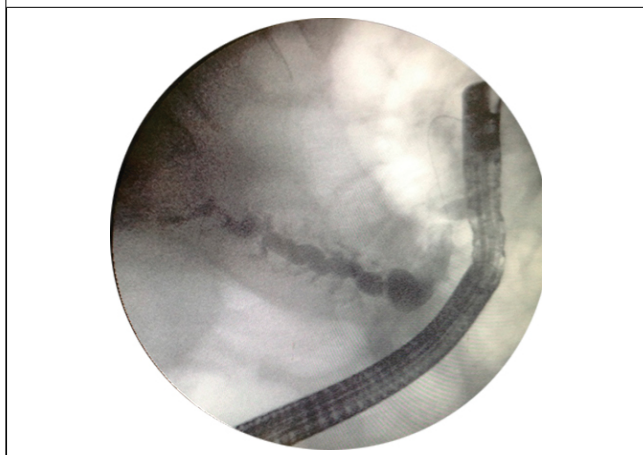


Рисунок 8. Панкреатограмма

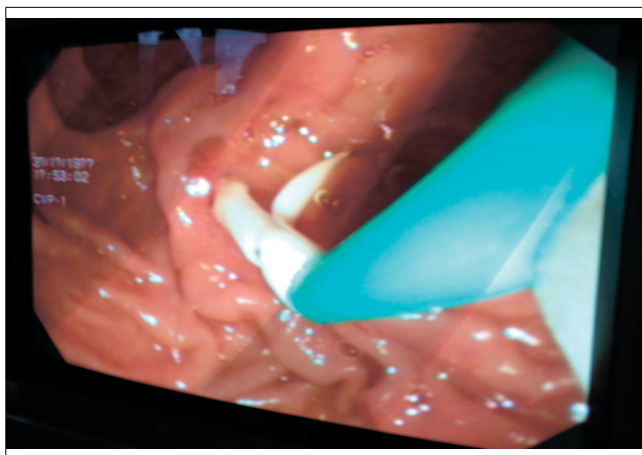


Рисунок 9. Этап установки стента

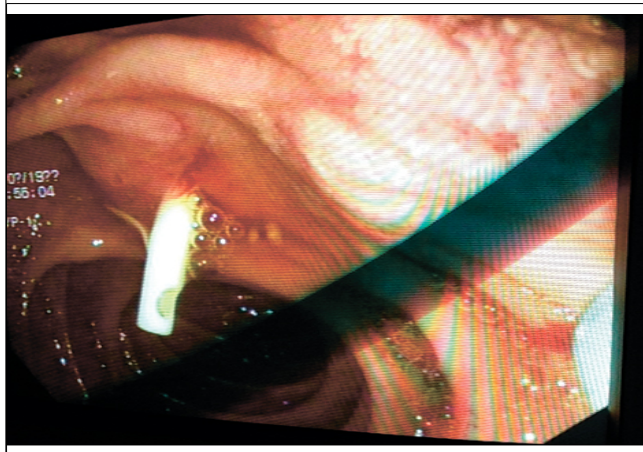


Рисунок 10. Вид установленного стента

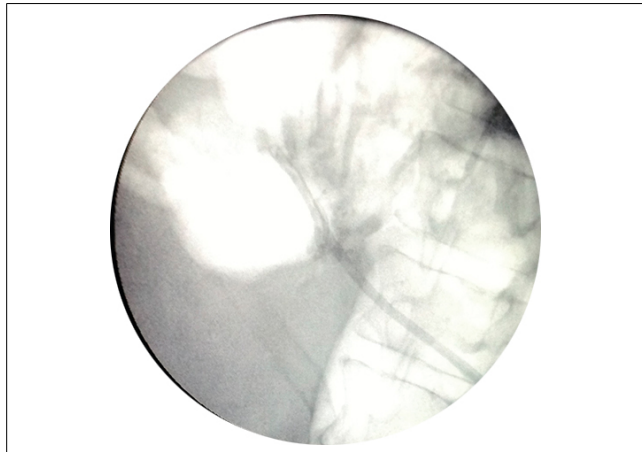


Рисунок 11. Рентгенограмма установленного нового панкреатического стента

Оценка качества жизни, связанного со здоровьем (КЖСЗ), является в настоящее время наиболее объективным интегральным показателем результатов лечения в отдаленном периоде после оперативного лечения (Dumonseau, 2012). Было исследовано качество жизни пациентов до операции, через 1 год, через 3 года и через 5 и более лет после операции (табл. 9).

Установлено, что после ОСПП позитивные сдвиги появляются в течение года. В частности, улучшение физического функционирования повышается в 1,8 раза, ролевого функционирования, обусловленного физическим состоянием в 11 раз, интенсивность болевого синдрома снижается в 4,5 раза, общее состояние здоровья возрастает в 2,7 раза, жизненная активность в 2,1 раза, ролевое функционирование, обусловленное эмоциональным состоянием в 4,6 раза и психическое здоровье в 1,6 раза ($P < 0,05$). В дальнейшем на протяжении 5 и более лет отмеченные параметры в основном стабилизируются. Существенной динамики по сравнению с изменениями, произошедшими в течение 1 года после операции не отмечено ($p > 0,05$).

Общее количество панкреатических стентов, установленных при операции и эндоскопической замене составило 90. Из них пластиковых панкреатических стентов, производимых фирмой «СООС» установлено 30, нитиновых саморасширяющихся с полиуретановым покрытием производства «МИТ» - 4, «пластиковых эндопротезов для стентирования панкреатических протоков» - 56. Осложнения при использовании различных стентов представлены в табл. 10.

Как видно из таблицы 10, дистальная миграция стента произошла у 5 оперированных в случае установки панкреатических стентов фирмы «СООС», последняя не сопровождалась рецидивом болевого синдрома, обтурация панкреатического стента с образованием абсцесса сумки малого сальника через 5 мес. после операции - в 1 случае при использовании нитинового стента с покрытием, проксимальная миграция стента внутрь поджелудочной железы - у 1 оперированного при использовании «пластикового эндопротеза для стентирования панкреатических протоков». Данное осложнение произошло по причине технического

Таблица 9
Изменения КЖСЗ до и после ОСПП в основной группе

Параметры качества жизни	До операции, n=31 (M±m)	Период наблюдения		
		1 год, n=31 (M±m)	3 года, n=16 (M±m)	5 лет, n=15 (M±m)
Физическое функционирование	52,5±3,7	94,3±6,2*	92,9±5,8**	93,3±6,1**
Ролевое функционирование	8,93±3,4	98,2±1,8*	97,9±1,2**	97,9±1,2**
Интенсивность боли	18,3±7,4	82,9±6,8*	82,7±6,4**	83,3±8,1**
Общее состояние здоровья	30±6,9	79,5±7,2	80,3±6,5**	80,8±7,1**
Жизненная активность	38,2±9,5	80,7±8,8*	80,0±9,2**	79,6±11,3**
Социальное функционирование	48,2±9,8	87,5±8,6*	88,5±7,9**	87,5±7,6**
Эмоциональный статус	21,4±4,6	97,6±2,3*	97,3±2,6**	97,3±2,5**
Психическое здоровье	46,3±8,9	74,9±9,5*	74,3±9,7**	74,7±8,7**

Примечание: * - $P < 0,05$ сравнение наблюдений до начала лечения и через год после операции; ** - $P > 0,05$ сравнение результатов лечения через 1 год, через 3 года и через 5 лет наблюдения

Таблица 10
Осложнения при использовании различных панкреатических стентов

Виды панкреатических стентов	Количество	Виды осложнений			Всего:
		Дистальная миграция	Проксимальная миграция	Обтурация стента с гнойными осложнениями	
Пластиковые стенты «СООС»	30	5	0	0	5
Нитиновые покрытые стенты «МИТ»	4	0	0	1	1
Пластиковый эндопротез	56	0	1	0	1
ИТОГО:	90	5	1	1	7

несовершенства антимиграционного устройства, исправленного в последующих изделиях. Оперировано 2 пациентов: 1 выполнено дренирование абсцесса сумки малого сальника в желудок и 1 повторное ОСПП (через 15 месяцев после первой операции) с извлечением мигрировавшего стента.

Нитиноловый саморасширяющийся стент, плотно прижимаясь к стенкам хода и Вирсунгова протока в головке ПЖ не оставляет места для парапротезного дренирования и полностью блокирует просвет при обтурации стента, которая развивалась через 5 месяцев после его установки. В связи с этим обстоятельством от использования нитиноловых стентов пришлось отказаться полностью. Уже установленные нитиноловые стенты были заменены на пластиковые.

Для сравнения непосредственных результатов оперативного лечения в основной группе (n 40) и в группе сравнения (n 65) учитывался характер и количество послеоперационных осложнений, потребность в проведении релапаротомий, а также количество летальных исходов. Сравнялась также длительность послеоперационного пребывания в стационаре.

В группе сравнения встретились следующие виды послеоперационных осложнений: внутрибрюшное кровотечение 1(1,5%), несостоятельность анастомоза 4(6,2%), распространенный перитонит 4(6,2%), местный перитонит 5(7,7%), массивная ТЭЛА 2(3,1%). Наибольшее количество осложнений было после ПДР 11(27,5%) и ККР ПЖ – 2(33,3%). Общее количество осложнений в группе сравнения составило 16(24,6%). В основной группе перечисленных осложнений не было.

Количество релапаротомий в группе сравнения (n=65) составило 14 (21,5%) у 11(16,9%) больных,

в основной группе (n=40) была 1 (2,5%) релапаротомия, которая носила диагностический характер. Послеоперационная летальность при различных видах операций представлена в табл. 11.

Наибольшая летальность была после ПДР (n=40) – 6(15%). Всего в группе сравнения (n=65) умерло 7 (10,8%), в основной группе умерших не было.

Среднее пребывание на койке после операции в основной группе составило $11,3 \pm 1,5$, в группе сравнения $23,4 \pm 2,6$.

Изменения уровня качества жизни, связанного со здоровьем в группе сравнения представлены в табл. 12.

При сравнительном анализе результатов КЖСЗ, представленных в таблицах видно, что во всех категориях рост среднего показателя являлся статистически значимым ($p < 0,05$), как в основной группе, так и в группе сравнения, но в основной группе рост среднего показателя был выше, чем в группе сравнения по всем исследуемым категориям и являлся статистически значимым ($p < 0,05$). Через 3 года и через 5 лет после операции качество жизни пациентов по сравнению с достигнутым через 1 год после операции практически осталось на достигнутом уровне в обеих группах. Колебания значений по сравнению с предшествующим периодом были статистически не значимыми ($p > 0,05$).

Таким образом, при сравнении непосредственных и отдаленных результатов открытого стентирования панкреатического протока и других дренирующих и резекционных операций можно констатировать более легкое течение ближайшего послеоперационного периода, отсутствие летальных исходов, а также более высокое качество жизни в отдаленном периоде после открытого

Таблица 11

Послеоперационная летальность в зависимости от вида оперативного вмешательства

Вид операции	Летальность	
	Абс. число	%
ПДР (n=40)	6	15%
Операция Фрея (n=7)	0	0%
ПЕС (n=12)	1	8,3%
ККР (n=6)	0	0%
Всего (n=65)	7	10,8%
ОСПП (n=38)	0	0%
Эндостентирование ГПП (n=2)	0	0%
Всего (n=40)	0	0%

Таблица 12

Изменения КЖСЗ до и после операции в группе сравнения

Параметры качества жизни в группе сравнения (n=34)	Период наблюдения			
	До операции, n=34 (M±m)	1 год, n=34 (M±m)	3 года, n=34 (M±m)	5 лет, n=27 (M±m)
Физическое функционирование	55,8±7,2	74,5±6,8*	76,4±7,3**	74,4±6,2**
Рольное функционирование	38,5±11,5	76,8±9,7*	78,2±8,9**	77,5±8,2**
Интенсивность боли	62,3±5,7	70,9±6,4*	81,6±5,9**	71,3±6,2**
Общее состояние здоровья	41,7±4,8	65,6±5,6*	65,4±6,6**	67,2±7,3**
Жизненная активность	45,0±4,5	80,2±4,8*	80,0±3,9**	79,5±5,1**
Социальное функционирование	60,6±3,1	85,4±5,3*	87,4±7,1**	87,6±6,8**
Эмоциональный статус	43,6±10,9	80,9±9,7*	82,3±10,1**	81,7±9,3**
Психическое здоровье	52,9±4,0	65,4±5,1*	68,2±4,9**	69,1±5,0**

Примечание: * - P<0,05 сравнение наблюдений до начала лечения и через год после операции; ** - P>0,05 сравнение результатов лечения через 1 год, через 3 года и через 5 лет наблюдения

стентирования панкреатического протока. ОСПП является операцией выбора при непрерывно рецидивирующей болевой форме хронического панкреатита, сопровождающейся выраженными инфильтративными изменениями паренхимы поджелудочной железы и органов гепатопанкреатобилиарной зоны, гнойно-септическими осложнениями и общим тяжелым состоянием больного, т.е. когда другие оперативных вмешательств чреваты развитием тяжелых послеоперационных осложнений или технически невыполнимы.

Кроме того, в ходе исследования установлены критерии наиболее эффективного способа оперативного лечения ХП согласно которым, операция должна: 1) носить характер органосохраняющей и восстановительной для нормальной физиологии пищеварительной системы; 2) быть направлена на устранение панкреатической протоковой гипертензии, как основной причины в генезе боли и непрерывно рецидивирующего воспалительного процесса в самой ПЖ и окружающих ее органах; 3) иметь комбинированный характер для устранения всего комплекса осложнений, имеющих у конкретного больного. Использование «Пластикового эндопротеза для стентирования панкреатических протоков» позволило пролонгировать функционирование панкреатического стента в организме человека до 10-12 месяцев и применять его как при ОСПП, так и для эндоскопической замены панкреатического стента. (патент РФ на изобретение № 2617062 от 19 апреля 2017 г.)

Литература

Егоров, В. И., Вишневский, В. А., Щастный, А. Т., Шевченко, Т. В., Жаворонкова, О. И., Петров, Р.

В., Полторацкий, М. В., & Мелехина, О. В. (2009). Резекция головки поджелудочной железы при хроническом панкреатите. Как делать и как называть? (аналитический обзор). *Хирургия*, 8, 57–66.

Забелин, М. В., Зубрицкий, В. Ф., Покровский, К. А., Сальников, А. А., & Юрий, А. В. (2009). Оценка отдаленных результатов хирургического лечения и качества жизни больных деструктивным панкреатитом. *Хирургия*, 12, 14–18.

Зубрицкий, В. Ф., & Звольская, Н. М. (2017). Открытая протезирующая вирсунгопластика – новый тип оперативного вмешательства при хирургическом лечении хронического панкреатита. *Медицинский вестник МВД*, 1, 7–10.

Зубрицкий, В. Ф., Левчук, А. Л., & Звольская, Н. М. (2019). Открытое стентирование панкреатического протока в лечении осложненных форм хронического панкреатита. Вита-стар.

Иванов, С. В., Горбачева, О. С., Розберг, Е. П., Иванов, И. С., Ягубов, Г. В., Зубрицкий, В. Ф., & Звольская, Н. М. (2016). Лечение больных хроническим панкреатитом – панкреатодуоденальная резекция или операция Фрея. *Медицинский вестник МВД*, 1, 5–19.

Ившин, В. Г., Старченко, Г. А., & Малафеев, И. В. [и др.] (2008). Чрескожное эндопротезирование протока поджелудочной железы. *Анналы хирургической гепатологии*, 13(2), 163–164.

Коханенко, Н. Ю., & Артемьева, Н. Н. (2006). Наружное дренирование главного панкреатического протока при хроническом панкреатите. *Вятский медицинский вестник*, (2), 126–127.

Коханенко, Н. Ю. & Артемьева, Н. Н. (2014). *Хронический панкреатит и его хирургическое лечение*. LAP LAMBERT Academic Publishing.

Кригер, А. Г., Кубышкин, В. А., Кармазановский, Г. Г., Свитина, К. А., Кочатков, А. В., Берелавичус,

- С. В., Козлов, И. А., Королев, С. В., & Горин, Д. С. (2012) Послеоперационный панкреатит при хирургических вмешательствах на поджелудочной железе. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*, 4, 14-19.
- Кочатков, А. В., Кригер, А. Г., Берелавичус, С. В., Королев, С. В., Свитина, К. А., & Косова, И. А. (2012). Резекция головки поджелудочной железы с продольным панкреатоеюноанастомозом (операция Фрея) *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*, 2, 31-36.
- Кубышкин, В. А., Козлов, И. А., & Далгатова, К. Д. (2006). Хирургическое лечение хронического панкреатита с преимущественным поражением головки поджелудочной железы. *Хирургия*, 5, 57.
- Козлов, И. А., Кубышкин, В. А., Яшина, Н. И., Винокурова, Л. В., & Пашовкин, И. Т. (2008). Обоснование выбора способа хирургического лечения хронического панкреатита. *Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология*, 7, 63-68.
- Кузин, М. И., Данилов, М. В., & Благовидов, Д. Ф. (1985). *Хронический панкреатит*. Медицина.
- Шалимов, А. А., Грубник, В. В., & Горовиц, Д., Зайчук, А. И., Ткаченко, А. И. (2000). *Хронический панкреатит. Современные концепции патогенеза, диагностики и лечения*. Здоров'я.
- Di Maio, C. J. (2018). Management of complications of acute pancreatitis. *Wolters Kluwer Health*, 34, 1-6.
- Dumonceau, J. M., Delhaye, M., Tringali, A., Dominguez-Munoz, J. E., Poley, J. W., Arvanitaki, M., Costamagna, G., Costea, F., Devière, J., Eisendrath, P., Lakhtakia, S., Reddy, N., Fockens, P., Ponchon, T., & Bruno, M. (2012). Endoscopic treatment of chronic pancreatitis: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE). *Clinical Guideline. Endoscopy*, 44, 784-796. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1309840>
- Frank, A. J., Moll, J. M., & Hort, J. F. (1982). A comparison of three ways of measuring pain. *Rheumatology and rehabilitation*, 21(4), 211-217.
- Tomita, R., Sakurai, K., Fujisaki, S., & Shibata, M. (2012). Manometric study in patients with or without preserved lower esophageal sphincter 2 years or more after total gastrectomy reconstructed by Roux-en-Y for gastric cancer. *Hepatogastroenterology*, 59(119), 2339-2342. <https://doi.org/10.5754/hge10384>
- Weber, A., Schneider, J., Neu, B., Meining, A., Born, P., Schmid, R.M., & Prinz, C. (2007) Endoscopic stent therapy for patients with chronic pancreatitis: results from a prospective follow-up study. *Pancreas*, 34(3), 287-294. <https://doi.org/10.1097/mpa.0b013e3180325ba6>
- Werner J., & Büchler M.W. (2007). Infektionen im Rahmen der nekrotisierenden Pankreatitis [Infectious complications in necrotizing pancreatitis]. *Zentralblatt für Chirurgie*, 132(5), 433-437. <https://doi.org/10.1055/s-2007-981272>
- Zeng, Q. S., Wu, C. C., Liu, W., Ye, L. S., Jiang, S., Zhang, Y. H., & Hu, B. (2019). Correction: Endoscopic Placement of a U-Shaped Plastic Stent in Patients With Recurrent Acute Pancreatitis and Incomplete Pancreas Divisum. *The American journal of gastroenterology*, 114(4), 695. <https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000000195>
- Zubritskii, V., Belyi, G. A., & Zvol'skaya, N. M. (2014). An open extra-anatomic stenting of the main pancreatic duct – a novel procedure in chronic pancreatitis surgery. *Hepato-Gastroenterology*, 132(61), 125-126.

Surgical Treatment of Complicated Forms of Chronic Pancreatitis by Open Stenting of Pancreatic Flow

Vladislav F. Zubritskiy

Main Clinical Hospital of the Ministry of the Interior of the Russian Federation
35 Narodnogo opolcheniya str., Moscow, 123060, Russian Federation
E-mail: zubritsky.vladislav@gmail.com

Nina M. Zvolenskaya

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: zvolenskayanm@mgupp.ru

Aleksandr L. Levchuk

National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov
70 Nizhnyaya Pervomayskaya, Moscow, 105203, Russian Federation
E-mail: nmhc@mail.ru

Elena A. Lapteva

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: laptevaea@mgupp.ru

Surgical treatment of chronic pancreatitis (CP) is one of the most complex and unsolved problems of surgical pancreatology to date. The aim of the scientific work was to study the effectiveness of open stenting of the pancreatic duct with the aim of restoring the drainage function of the pancreatic duct system by creating an artificial passage in the parenchyma of the pancreatic head, connecting the lumen of the main pancreatic duct with the lumen of the duodenum. In the course of the study, a new method for the surgical treatment of chronic pancreatitis, which allows to restore the flow of pancreatic juice into the duodenum and effectively stops the acute process in the pancreas, supported by pancreatic ductal hypertension - open pancreatic duct stenting. This technology allows you to quickly stop the pain and inflammation in the pancreas, restore the passage of pancreatic juice into the duodenum, eliminate trophological disorders, reduce the number and severity of postoperative complications, improve the quality of life of patients, eliminate the development of diabetes mellitus immediately after surgery

Keywords: ductal hypertension, drainage function, pancreatic juice, quality of life, pancreatogenic peritonitis

References

- Egorov, V.I., Vishnevsky, V.A., Schastny, A.T., Shevchenko, T.V., Zhavoronkova, O.I., Petrov, R.V., Poltoratsky, M.V., & Melekhina, O. V. (2009). Pancreatic head resection in chronic pancreatitis. How to do and what to call? (analytical review). *Hirurgiya [Surgery]*, 8, 57–66.
- Zabelin, M. V., Zubritsky, V. F., Pokrovsky, K. A., Salnikov, A. A., & Yuri, A. V. (2009). Evaluation of the long-term results of surgical treatment and the quality of life of patients with destructive pancreatitis. *Hirurgiya [Surgery]*, 12, 14–18.
- Zubritsky, V. F., & Zvolenskaya, N. M. (2017). Open prosthetic wirsungoplasty is a new type of surgical intervention in the surgical treatment of chronic pancreatitis. *Meditinskiy vestnik MVD [Medical Bulletin of the Ministry of Internal Affairs]*, 1, 7–10.
- Zubritsky, V. F., Levchuk, A. L., & Zvolenskaya, N. M. (2019). *Otkrytoe stentirovanie pankreaticheskogo protoka v lechenii oslozhnennykh form hronicheskogo pankreatita* [Open stenting of the pancreatic duct in the treatment of complicated forms of chronic pancreatitis]. VITA-STAR
- Ivanov, S. V., Gorbacheva, O. S., Rozberg, E. P., Ivanov, I. S., Yagubov, G. V., Zubritsky, V. F., & Zvolenskaya, N. M. (2016) Treatment of patients with chronic pancreatitis - pancreatoduodenal resection or Frey operation. *Meditinskiy vestnik MVD [Medical Bulletin of the Ministry of Internal Affairs]*, 1, 15–19.
- Ivshin, V. G., Starchenko, G. A., & Malafeev, I. V. [et al.]

- (2008) Percutaneous endoprosthesis replacement of the pancreatic duct. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii* [Annals of surgical hepatology]. 13. (2), 163–164.
- Kokhanenko, N. Yu., & Artemyev, N. N. (2006). External drainage of the main pancreatic duct in chronic pancreatitis. *Vyatskiy meditsinskiy vestnik* [Vyatka Medical Bulletin], 2, 126–127.
- Kokhanenko, N. Yu., & Artemyev, N. N. (2014) *Khronicheskiy pankreatit i yego khirurgicheskoye lecheniye* [Chronic pancreatitis and its surgical treatment]. LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Krieger, A. G., Kubyshkin, V. A., Karmazanovsky, G. G., Svitin, K. A., Kochatkov, A. V., Berelavichus, S. V., Kozlov, I. A., Korolev, S. V., & Gorin, D. S. (2012) Postoperative pancreatitis in pancreatic surgery. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova* [Surgery. Journal named after N.I. Pirogov], 4, 14–19.
- Kochatkov, A. V., Krieger, A. G., Berelavichus, S. V., Korolev, S. V., Svitina, K. A., & Kosova, I. A. (2012). Pancreatic head resection with longitudinal pancreatojejunostomosis (Frey operation) *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova*. [Surgery. Journal named after N.I. Pirogov], 2, 31–36.
- Kubyshkin, V. A., Kozlov, I. A., & Dalgatov, K. D. (2006). Surgical treatment of chronic pancreatitis with a primary lesion of the pancreatic head. *Hirurgiya* [Surgery], 5, 57.
- Kozlov, I. A., Kubyshkin, V. A., Yashina, N. I., Vinokurova, L. V., & Pashovkin, I. T. (2008). The rationale for the choice of surgical treatment of chronic pancreatitis. *Eksperimental'naya i klinicheskaya gastroenterologiya* [Experimental and clinical gastroenterology], 7, 63–68
- Kuzin, M. I., Danilov, M. V., & Blagovidov, D. F. (1985). *Khronicheskiy pankreatit* [Chronic pancreatitis]. Medicine.
- Shalimov, A. A., Grubnik, V. V., & Horowitz J., Zaichuk, A. I., Tkachenko, A. I. (2000) *Khronicheskiy pankreatit. Sovremennye koncepcii patogeneza, diagnostiki i lecheniya* [Chronic pancreatitis. Modern concepts of pathogenesis, diagnosis and treatment]. Zdorov'ya.
- Di Maio, C. J. (2018). Management of complications of acute pancreatitis. *Wolters Kluwer Health*, 34, 1–6.
- Dumonceau, J. M., Delhay, M., Tringali, A., Dominguez-Munoz, J. E., Poley, J. W., Arvanitaki, M., Costamagna, G., Costea, F., Devière, J., Eisendrath, P., Lakhtakia, S., Reddy, N., Fockens, P., Ponchon, T., & Bruno, M. (2012). Endoscopic treatment of chronic pancreatitis: European Society of Gastrointestinal Endoscopy (ESGE). *Clinical Guideline. Endoscopy*, 44, 784–796. <https://doi.org/10.1055/s-0032-1309840>
- Frank, A. J., Moll, J. M., & Hort, J. F. (1982). A comparison of three ways of measuring pain. *Rheumatology and rehabilitation*, 21(4), 211–217.
- Tomita, R., Sakurai, K., Fujisaki, S., & Shibata, M. (2012). Manometric study in patients with or without preserved lower esophageal sphincter 2 years or more after total gastrectomy reconstructed by Roux-en-Y for gastric cancer. *Hepatogastroenterology*, 59(119), 2339–2342. <https://doi.org/10.5754/hge10384>
- Weber, A., Schneider, J., Neu, B., Meining, A., Born, P., Schmid, R. M., & Prinz, C. (2007) Endoscopic stent therapy for patients with chronic pancreatitis: results from a prospective follow-up study. *Pancreas*, 34(3), 287–294. <https://doi.org/10.1097/mpa.0b013e3180325ba6>
- Werner J., & Büchler M. W. (2007). Infektionen im Rahmen der nekrotisierenden Pankreatitis [Infectious complications in necrotizing pancreatitis]. *Zentralblatt für Chirurgie*, 132(5), 433–437. <https://doi.org/10.1055/s-2007-981272>
- Zeng, Q. S., Wu, C. C., Liu, W., Ye, L. S., Jiang, S., Zhang, Y. H., & Hu, B. (2019). Correction: Endoscopic Placement of a U-Shaped Plastic Stent in Patients With Recurrent Acute Pancreatitis and Incomplete Pancreas Divisum. *The American journal of gastroenterology*, 114(4), 695. <https://doi.org/10.14309/ajg.0000000000000195>
- Zubritskii, V., Belyi, G. A., & Zvol'skaya, N. M. (2014). An open extra-anatomic stenting of the main pancreatic duct – a novel procedure in chronic pancreatitis surgery. *Hepato-Gastroenterology*, 132(61), 125–126.

Индикация биопленок и некультивируемых микроорганизмов при мониторинге биологической безопасности пищевого сырья

Ленченко Екатерина Михайловна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: lenchenko.ekaterina@yandex.ru

Сысоева Наталья Юрьевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: 864365@mail.ru

Блюменкранц Дмитрий Алексеевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: blumenkrants@inbox.ru

Актуальность исследования и наличие пробелов в существующем знании на тему. Мониторинговые исследования биологической безопасности пищевого сырья по микробиологическим показателям – актуальная проблема, в связи с увеличением числа пищевых инфекций во всем мире.

Цель работы – изучить особенности формирования биопленок и некультивируемых микроорганизмов при различных условиях культивирования

Методы. Морфометрические и денситометрические показатели биопленок и некультивируемых микроорганизмов исследовали при различных условиях культивирования. Для изучения роста и развития популяций микроорганизмов использовали среды, содержащие ростовые факторы для репарации клеточной стенки и реверсии L-форм микроорганизмов.

Результаты и их обсуждение. При микробиологическом контроле критических точек технологии животноводства и пищевых производств изучены видовой состав и этиологическая значимость факторов вирулентности штаммов, продуцирующих адгезивные антигены, бактериоцины, гемолизины, токсины, β -лактамазы расширенного спектра, обуславливающие тенденцию роста множественной лекарственной устойчивости. Изучены морфофункциональные признаки биопленок, представляющих собой сообщества микроорганизмов, секретирующих полимерный матрикс и адгезированных к тканям восприимчивых видов животных и абиотическим поверхностям животноводческих помещений и пищевых производств. Установлены прямые коррелятивные зависимости между филаментацией, дисперсией поливидовых биопленок микроорганизмов и развитием дистрофических и некротических процессов в тканях и органах млекопитающих и птиц. Для оптимизации схемы микробиологической диагностики инфекционной патологии апробированы и подобраны эффективные способы детекции гетероморфных биопленок и некультивируемых микроорганизмов. Для предотвращения формирования биопленок патогенных микроорганизмов перспективными являются препараты, снижающие уровень микробиологических показателей первичной контаминации; минимизации адгезивных свойств, а также биоцидов разрушающих межклеточный матрикс.

Выводы. Способность формирования биопленок, вариабельность фенотипических признаков, множественность факторов вирулентности, возникновение устойчивых форм бактерий за счет синтеза экзополисахаридов, значительно снижают эффективность противоэпизоотических и диагностических мероприятий. Разработка ускоренных методов детекции биопленок и дифференциации некультивируемых микроорганизмов позволит научно обосновать и разработать комплекс мероприятий, направленных на предупреждение заболеваний животных и получение безопасных продуктов животноводства, с целью профилактики заболеваний человека.

Ключевые слова: адгезия, матрикс, биоплёнки, бактериоцины, гемолизины, диссеминация, колонизационная резистентность, L-формы, некультивируемые микроорганизмы

Введение

Мониторинговые исследования биологической безопасности пищевого сырья по микробиологическим показателям – актуальная проблема, в связи с увеличением числа зарегистрированных болезней, передаваемых человеку через сырье и продукты животного происхождения. Наблюдается тенденция статистически достоверного возрастания эпидемиологических показателей во всем мире, доля указанных патологий составляла 20,6 % из общего числа 5098 вспышек пищевых инфекций, госпитализация – 4588, летальность – 0,9 (WHO, 2018).

Колонизационная резистентность слизистой оболочки органов дыхательной, пищеварительной, половой системы обеспечивает защиту от формирования биоплёнок патогенов, включая *Yersinia enterocolitica*, *Shigella spp.*, *Salmonella spp.*, *Klebsiella spp.*, *Citrobacter spp.* (Ленченко, 1996; Ленченко, 2014; Sicard et al., 2017; Sushma et al., 2018). Наиболее актуальными и опасными патогенами признаны полирезистентные штаммы микроорганизмов «ESKAPE» – *Enterococcus faecium*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae*, *Acinetobacter baumannii*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter spp.*, способные адаптироваться к действию химиотерапевтических и дезинфицирующих препаратов (Maarten et al., 2018).

При многократных пассажах возбудителей инфекционных болезней через восприимчивый организм млекопитающих и птиц персистенция микроорганизмов сопровождается контаминацией пищевого сырья. В частности, 30,7 % проб мяса были контаминированы бактериями рода *Salmonella*, в том числе *S. typhimurium* – 11,3 %, *S. enteritidis* – 9,4 %, из которых 19 проб говядины (16,5 %); 35 проб свинины (30,4 %); 52 пробы мяса птицы (45,2 %) (Ленченко и соавт., 2017). Выделенные из мяса бройлеров 87 штаммов *S. infantis*, являлись сильными продуцентами биопленок, средний показатель оптической плотности – $0,42 \pm 0,17$ (Pate et al., 2019).

На поверхности оборудования пищевых производств резистентные штаммы *Salmonella spp.*, *Listeria spp.*, *Staphylococcus spp.* и *Enterococcus spp.*, выделенные из пищевого сырья, формировали биоплёнки, положительная корреляционная зависимость ($r=0,94$) установлена между биологическим объемом ($182704,31 - 238200,56 \text{ мкм}^3$) и поверхностным натяжением субстрата (24,58–99,95 %) (Rodríguez-Melcón et al., 2018). Наличие *Listeria monocytogenes* выявлено в 195 пробах мяса птицы:

36 (17,9 %) – в тушах бройлеров на технологическом этапе потрошения; 43 (22,1 %) – на этапе упаковки (Santos et al., 2018). Микроорганизмы способны колонизировать поверхность оборудования на линии переработки мясоперерабатывающих предприятий (*Salmonella spp.* – 88,46 %) и сохранять жизнеспособность благодаря образованию биоплёнок (Nidaullah et al., 2017).

В свете современных данных микроорганизмы составляют около 10,0–15,0 % массы биоплёнок, остальная часть – межклеточный матрикс из воды, экзополисахаридов, протеинов, липидов, нуклеиновых и тейхоевых кислот (Lenchenko et al., 2019; Surgers et al., 2019). Мутации в генах, участвующих в процессе дисперсии, вызывают гиперагрегацию биопленок, гетероморфизм в кластерах с различными проявлениями L-трансформации, переход популяции в «некультивируемое состояние», формированием фенотипической резистентности (Ленченко, 1996; Pakhomov et al., 2012; Ленченко и соавт., 2014).

Снижение интенсивности метаболизма обеспечивается экзополисахаридами биопленок, при реализации активности факторов вирулентности, кодируемыми хромосомными, плазмидными генами и интегрированными в хромосому бактериофагами (Ленченко и соавт., 2014; Андрюков, 2018; Lenchenko et al., 2019). Установлены прямые коррелятивные зависимости между дисперсией биопленок и пролиферацией микроорганизмов в эпителиальный и соединительнотканый слой дермы (Ленченко и соавт., 2014). Положительная корреляционная зависимость наблюдается между продуцированием биопленок и профилем устойчивости к антибактериальным препаратам (Surgers et al., 2019). Множественная продукция β -лактамаз наблюдалась у 21,52 % изолятов, установлено одновременное продуцирование 2 и/или 3 β -лактамаз, устойчивость к β -лактамам антибиотикам достигала 21,94 % – имипенем, 5,49 % – полимиксин (Tankhiwale, Nagar, 2016). Гены расширенного спектра β -лактамаз были выявлены у 93,4 % изолятов, у 100,0 % штаммов обнаруживали два генетических фактора вирулентности (Fangjun et al., 2018).

Способность формирования биопленок, возникновение устойчивых форм бактерий за счет синтеза экзополисахаридов, значительно снижают эффективность химиотерапевтических и дезинфицирующих препаратов.

Для разработки комплекса диагностических и противоэпизоотических мероприятий, направленных на предупреждение заболеваний животных и по-

лучение безопасных продуктов животноводства, приоритетным направлением научных изысканий является разработка ускоренных методов детекции биопленок и некультивируемых микроорганизмов при микробиологическом контроле критических точек технологии животноводства, пищевых и биотехнологических производств, что и определило актуальность темы исследований.

Цель работы – изучить особенности формирования биопленок и некультивируемых микроорганизмов при различных условиях культивирования

Материалы и методы

Материалы

Для исследования колонизационной резистентности кишечника учитывали индекс колонизации – количество микроорганизмов (КОЕ) в 1,0 г исследуемого материала телят породы «Симментальская»; ягнят породы «Агинская»; птиц кросса «Шейвер Уайт». Степень контаминации микроорганизмами проб пищевого сырья и продуктов животного происхождения исследовали, в соответствии с Техническими Регламентами Таможенного Союза 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», 034/2013 «О безопасности мяса и мясной продукции». Микроорганизмы культивировали при 37 °C, 24–72 ч на «*Chromocult Coliform agar*», «*Cetrimide Agar*», «*Yolk-salt agar*», «*HiCrome Candida Agar*» («HIMEDIA», Индия).

Для изучения биопленок и некультивируемых микроорганизмов препараты фиксировали смесью спирт:эфир – 1:1, в течение 10 минут; 4,0 %-ным раствором глутарового альдегида – 30–40 мин, 1,0 % водного раствора осмиевой кислоты – 1–2 мин. Препараты окрашивали 0,1 %-ным раствором генцианвиолета, 0,5 % метиленового синего, 0,5 % трипанового синего, 0,1 % акридинового оранжевого, 0,1 % водным раствором конго-красного, водным раствором кристаллвиолета в разведении 1:2000, по Граму, «*Gram-color-stain set for the Gram staining method*» («БиоВитрум», Россия).

Методика исследования

Оборудование

Стереоскопический микроскоп «Биомед МС–1 Стерео» (Россия, 2016); оптические микроскопы: «Биомед 5» (Россия, 2018), «H604T Trinocular Unico» (США, 2016); микропланшетный фотометрический

анализатор «Immunochem-2100» (США, 2017).

Инструменты

«STATGRAPHICS PLUS» (Statgraphics Technologies); «Advanced Grapher» (Alentum Software).

Методы

Идентификацию микроорганизмов, проводили общепринятыми методами в соответствии с классификационной системой «*Bergey's manual 1984–1989*».

Факторы вирулентности и признаки микроорганизмов, связанные с плазмидой вирулентности, определяли по наличию адгезивных антигенов, бактериоцинов, гемолизинов, токсинов, β -лактамаз. Для изучения взаимодействия микроорганизмов с клетками восприимчивых видов использовали эритроциты птиц и млекопитающих (Ленченко и соавт., 2014).

Культуры микроорганизмов (4 ЕД, McFarland) культивировали при 37 °C, 18–72 ч, а также при воздействии препаратов: «Цефтриаксон», 25,0 мкг/мл (ОАО «Синтез АКО», Россия); «Абактерил», 0,25 % (ООО «Рудез», Россия).

Для исследования роста и развития некультивируемых микроорганизмов в популяциях использовали мембранные фильтры, помещенные на поверхность плотных питательных сред в чашки Петри. Для детекции некультивируемых микроорганизмов использовали среды, содержащие компоненты для репарации клеточной стенки и реверсии L-форм (Ленченко, 1996; Lenchenko et al., 2017; Becerra et al, 2016).

Оптическую плотность определяли по степени связывания кристаллического фиолетового («Himedia», Индия) при длине волны 490 нм, для этого в лунки 96-луночного планшета («Медполимер», Россия) вносили исследуемые образцы и культивировали 37 °C, 48 ч. Затем жидкость удаляли, лунки планшетов трижды промывали 200 мкл фосфатно-солевым раствором (рН 7,3). На каждой стадии промывки планшеты встряхивали в течение 5 мин. Фиксацию производили 150,0 мкл 96,0 % этанола в течение 15 мин, затем лунки подсушивали 37 °C, 20 мин. В лунки вносили 0,5 %-ный раствор красителя, культивировали 37 °C, 5 мин. Содержимое лунок удаляли, трижды промывали 200,0 мкл фосфатно-солевым раствором (рН 7,3), подсушивали. Краситель элюировали из адгезированных клеток 200 мкл 96,0 %-ным этанолом в течение 30 мин. Учитывали показатели: интенсивность формирования биопленки

(Intensive Density – ID): ID ≤ 0,1 – микроорганизмы не продуцирующие биоплёнку; ID ≥ 0,1–0,2 – слабые продуценты биопленки; ID ≥ 0,2–0,3 – умеренные продуценты биопленки; ID ≥ 0,3–0,4 – сильные продуценты биопленки (Chandra et. al., 2001; Lenchenko et al., 2019; Cadavid et al., 2019).

Для получения репрезентативной информации исследования проводили методом случайного отбора поля зрения достоверной частоты встречаемости – ≥90,0 % при стереоскопической и оптической микроскопии. Профиль антибиотикограмм учитывали в соответствии с методическими указаниями МУК 4.2.1890-04 и компьютерной программы «WHONET 5.6».

Анализ данных

Для статистического анализа результатов экспериментов применяли компьютерные программы «STATGRAPHICS PLUS», «Advanced Grapher» (Alentum Software).

Результаты

Микробиологические исследования выявили снижение колонизационной резистентности кишечника телят – индекс колонизации составляет 0,827 %; ягнят – 0,804 %; птиц – 0,806 %. Избыточный рост микроорганизмов в биотопах кишечника сопровождался повышением колонизационного и персистентного потенциала патогенных и потенциально-патогенных микроорганизмов. При уменьшении облигатной микрофлоры установлено преобладание бактерий *Escherichia coli* (42,8 – 54,8 %); *Klebsiella pneumoniae* (24,9 – 35,7 %); *Proteus vulgaris* (12,2 – 25,2 %); *Enterobacter aerogenes* (3,1 – 3,9 %); *Enterobacter cloacae* (3,3 – 5,9 %); *Serratia plymuthica* (1,8 – 2,1 %). Установлена этиологическая

значимость факторов вирулентности бактерий, продуцирующих адгезивные антигены *E.coli* O1 (31,5 %), O2 (23,0 %), O78 (16,7 %), O33:F41 (4,7 %) O111 (10,0 %), O15 (4,9 %), O2:A20 (5,0 %), O41 (4,8 %); α-,β-гемолизины (58,9 – 73,4 %); тиолзависимые гемолизины (37,3 – 45,5 %); термостабильные токсины (58,6 – 61,3 %).

При воздействии колицинов, вызывающих зоны задержки роста тест-штаммов – d–1,0–3,0 мм, интенсивность формирования биоплёнок составила ID=0,123±0,05 – 0,149±0,04 (опыт); ID=0,355±0,07 – 0,364±0,12 (контроль). Воздействие препаратов «Цефтриаксон» (25,0 мкг/мл) и «Абактерил» (0,25 %) выявило снижение показателей оптической плотности биопленок микроорганизмов, интенсивность формирования биопленок: ID=0,101±0,04–0,113±0,15 (опыт); ID=0,458±0,04 – 0,526±0,18 (контроль). Бактерицидный эффект к изученным препаратам наблюдался при концентрациях в 2-3 раза превышавших бактериостатический, число жизнеспособных клеток снижалось. Наблюдалось возрастание числа диссоциированных колоний: S-формы, d=2,0 – 5,0 мм; R-формы, d≥3,0 мм; M-формы, d=1,5 – 3,0 мм; d-формы (*Dwarf* – карликовые), d=0,2 – 0,5 мм.

Диссоциированные колонии составляли от 1,6 до 87,9 %, интенсивность формирования биоплёнок (ID): S-формы – ID=0,203±0,04–0,216±0,12, R-формы – ID=0,107±0,02–0,121±0,11. Оптическая плотность образца: D_s–0,458±0,04 – 0,526±0,18, интенсивность формирования биоплёнок – ID ≥ 0,3–0,4 – сильные продуценты биопленок; оптическая плотность образца: D_s – 0,321±0,04 – 0,397±0,06, интенсивность формирования биоплёнок – ID ≥ 0,2–0,3 – умеренные продуценты биопленок. Коррелятивная зависимость (r=0,96) установлена между интенсивностью формирования биоплёнок (ID) ≥ 0,3–0,4 и индексом адгезии (IA) ≥ 4,0–5,0; ID ≥ 0,2–0,3 и IA ≥ 2,5–3,9, соответственно (См. таблица №1).

Таблица 1

Результаты изучения интенсивности формирования биопленок микроорганизмов

Культуры микроорганизмов	Размеры клеток	Денситометрические показатели (D)			
		Контроль (D _c)	Опыт (D _s)	Интенсивность (ID)	IA
<i>E. coli</i>	(1,4 – 3,8)х(0,5 – 0,8)	0,099±0,06	0,321±0,04	≥ 0,2–0,3	3,6±0,05
<i>P. aeruginosa</i>	(1,5 – 5,0)х(0,5 – 1,4)	0,098±0,03	0,458±0,04	≥ 0,3–0,4	4,1±0,16
<i>S.aureus</i>	(1,5 – 1,6)	0,099±0,04	0,481±0,12	≥ 0,3–0,4	4,4±0,16
<i>C.albicans</i>	(1,5 – 10,0)	0,097±0,07	0,526±0,18	≥ 0,3–0,4	4,8±0,14
<i>C.parapsilosis</i>	(1,5 – 8,0)	0,098±0,06	0,397±0,06	≥ 0,2–0,3	3,8±0,09

Примечание: D – денситометрические показатели; D_c – D контроль; D_s – D исследуемый образец; ID – интенсивность: разность D исследуемого образца (D_s) и контроля (D_c); IA – индекс адгезии: отношение среднего числа микроорганизмов, прикрепившихся к поверхности эритроцита и % эритроцитов, имеющих на поверхности микроорганизмы.

При репрезентативной выборке достоверной частоты встречаемости – $\geq 90,0$ % поля зрения микроскопа выявили многоэтапный процесс формирования трехмерной структуры биопленок виде плотной сети, состоящей из бактериальных и дрожжевых клеток, гифальных и псевдогифальных форм, окружённых межклеточным полимерным матриксом (рис. 1).

Дисперсия при разрушении межклеточного матрикса и отделении бактериальных и дрожжевых клеток от микроколоний в виде обособленных разветвленных структур, колонизирующих свободные от микроорганизмов участки субстрата. В периферической части микроколоний экзоцеллюлярный матрикс постепенно истончался, выявлялись нарушение упорядоченности структуры популяции, как правило, при увеличении светопреломления и снижении оптической плотности выявлялись везикулы, сферопласты, протопласты, *L*-формы, игольчатые и гигантские структуры, клетки-ревертаны, кокковидные формы, деструктурированные, частично или полностью автолизированные клетки.

При изменении формы и снижении метаболизма микроорганизмов наблюдается переход популяции в «некультивируемое состояние», утрачивается способность микроорганизмов формировать ко-

лонии. Для репарации клеточной стенки, реверсии *L*-форм микроорганизмов установлена эффективность питательной среды, содержащей гидролизат панкреатический, маннит, *L*-аспарагин и глицерин. При 22 – 28 °С через 18 – 48 ч наблюдалось формирование прозрачных округлых колоний с ровными краями (КОЕ $57,8 \pm 1,7$ – $63,5 \pm 1,3$); количество шероховатых колоний (КОЕ $2,33 \pm 0,7$ – $4,07 \pm 0,9$) составляло 1,2 – 2,6 %, специфичность среды 80,4 – 97,4 %.

Перспективы дальнейших исследований – расширение границ познаний дифференциации гетерогенной структуры биопленок; фенотипические признаки адаптационных стратегий некультивируемых микроорганизмов; факторы вирулентности патогенов; изучение биологических свойств эпидемических и эпизоотических штаммов для оптимизации схемы микробиологической диагностики технологий химиотерапевтических и дезинфицирующих препаратов.

Обсуждение полученных результатов

Анализируя результаты исследований констатируем, что эволюционно сложившийся механизм адаптации за счет проявления и закрепления мутаций, межклеточная коммуникация, сорбция и

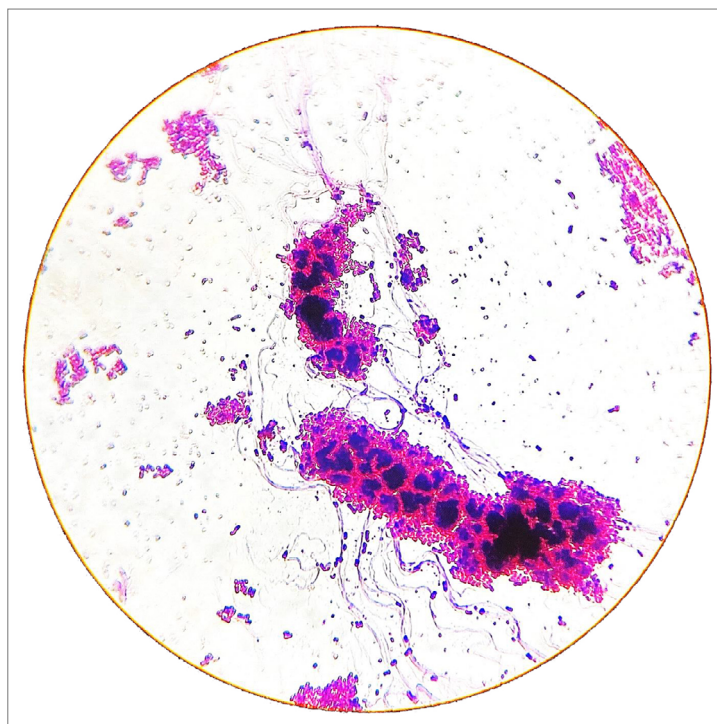


Рисунок 1. Интенсивность формирования биопленок микроорганизмов 37 °С, 48 ч: архитектура биопленки из коагрегации бактерий, дрожжевых и мицелиарных форм грибов, объединенных экзоцеллюлярным матриксом, и длинные разветвленные гифальные формы, формирующие плотные структуры, состоящих из псевдомицелия. Окраска по Граму. Ок. 10, об. 100, иммерсия

агрегация гетерогенных биопленок, циклические режимы роста обуславливают персистенцию некультивируемых микроорганизмов в межэпидемические и межэпизоотические периоды (Ленченко, 1996; Ленченко и соавт., 2014; Lenchenko et al., 2018, 2019).

Длительность и ретроспективность исследований сопряжены с изменчивостью фенотипических признаков, вариабельностью поверхностных антигенов, селекцией и трансмиссией генетических элементов (Ленченко, 1996; Сысоева и соавт., 2003; Скородумов и соавт., 2012; Barecca et al., 2016; Konkakova et al., 2016; Kontsevaya, Shambazova, 2019; Гламаздин и соавт., 2019).

Деструкция межклеточного матрикса биопленок достигается сочетанием колистина (9,0 мг/кг) и рифампицина (37,8 мг/кг), снижающих количество микроорганизмов (КОЕ) – $3,56 \pm 0,12 - 6,92 \pm 0,22$ (Cai Y. et al., 2018). Наличие транскрипционного фактора «TEC1» обеспечивает защиту биопленки от диффузии лекарственных средств, воздействие фарнезола в концентрации 12,5 % выявляли значительное снижение (56,2 %) биомассы биоплёнок (Carreiro et al., 2017). Комбинация групп препаратов β -лактамаминогликозид проявляют синергическое действие, так, имипенем (4,0–5,0 г/день) – тобрамицин (7,0 мг/кг) обеспечивали снижение количества микроорганизмов в тканях ($\leq 2,51 \log_{10}$ КОЕ) через 24 ч (Yadav et al., 2017). Комплексные ферментные препараты способствовали снижению адгезии микроорганизмов, нарушению мицелиального роста, уменьшению оптической плотности до 53,0 % (Ленченко, Ванина, 2005; Сачивкина и соавт., 2008; Mannarova, Shajhulow, 2018).

Альтернативные подходы деконтаминации пищевого сырья и пищевых производств: колицины, экспрессируемые *E.coli*, бактериофаги сальмонелл и псевдомонад ингибирующие рост dormantных форм микроорганизмов (Ленченко и соавт., 2014; Maarten et al., 2018). Бактериофаги сальмонелл и псевдомонад, вызывающие лизис культур микроорганизмов (McVay et al., 2007). Комбинированное воздействие ультрафиолетовых лучей и озонирования оказывало выраженное воздействие на снижение количества бактерий и плесневых грибов (Абдуллаева и соавт., 2017; Abdullaeva et al., 2019). Современные полимерные композиционные материалы и использование ультразвуковой обработки их расплавов, а также компоненты природного происхождения увеличивают технологические и эксплуатационные показатели пищевого сырья и готовой продукции (Кирш, Фролова, 2016; Beznaeva et al., 2018; Бакуменко и соавт., 2019).

Для детекции жизнеспособных микроорганизмов в составе гетерогенной популяции микроорганизмов *in vitro* и *in vivo* установлена эффективность инструментальных способов, в том числе флуоресцентная, проточная цитометрия, конфокальная сканирующая лазерная микроскопия (Ленченко и соавт., 2014; Cai et al., 2018; Chandra et al., 2001; Lenchenko et al., 2019; Cadavid et al., 2019).

Заключение

Снижение колонизационной резистентности, избыточный рост микроорганизмов в биотопах органов способствуют формированию биопленок патогенных микроорганизмов, продуцирующих адгезивные антигены, бактериоцины, гемолизины и характеризующихся множественной лекарственной устойчивостью, популяционной изменчивостью, снижением процессов метаболизма, и переходом популяции в «некультивируемое состояние».

Биосинтез экзополисахаридов представляет собой многоэтапный процесс, приводящий к смене бактериями фенотипических признаков по сравнению с их планктонными формами.

Апробированы и подобраны эффективные способы детекции гетероморфных биоплёнок – сообщества микроорганизмов, секретирующих полимерный матрикс и адгезированных к тканям восприимчивых видов животных и абиотическим поверхностям пищевых производств.

Разработка ускоренных методов детекции биопленок и дифференциации некультивируемых микроорганизмов позволит научно обосновать и разработать комплекс мероприятий, направленных на предупреждение заболеваний животных и получение безопасных продуктов животноводства, с целью профилактики заболеваний человека.

Литература

- Абдуллаева, А. М., Смирнова, И. Р., Трохимец, Е. В., & Губанкова, А. А. (2017). Микробиологический контроль полуфабрикатов из мяса индеек при холодильном хранении. *Ветеринария*, 8, 49–53.
- Андрюков, Б. Г., Сомова, Л. М., Матосова, Е. В., & Ляпун, И. Н. (2018). Фенотипическая пластичность бактерий как стратегия резистентности и объект современных антимикробных технологий. *Современные технологии в медицине*, 11(2), 164–182. <http://dx.doi.org/10.17691/stm2018.11.2.22>
- Бакуменко, О. Е., Андреева, А. А., & Алексеен-

- ко, Е. В. (2019). Изучение влияния рецептурных ингредиентов на показатели качества мясных консервов для детского питания. *Health, Food and Biotechnology*, 1(1), 61-74. <http://dx.doi.org/10.36107/hfb.2019.i1.s3>
- Блинкова, Л. П., Пахомов, Ю. Д., & Стоянова, Л. Г. (2010). Свойства некультивируемых и покоящихся форм микроорганизмов. *Иммунопатология, аллергология, инфектология*, 3, 67-76.
- Гламаздин, И. Г., Сысоева, Н. Ю., Сикоева, П. К., Першина, Т. А., & Крюковская, Г. М. (2019). Поражение свинины тканевыми цистами, контроль сырья при саркоцистозе. *Российский журнал Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии*, 2(30), 121-125. <http://dx.doi.org/10.25725/vet.san.hyg.ecol.201902002>
- Кириш, И. А., & Фролова, Ю. В. (2016). Антимикробные упаковочные материалы для мясной отрасли. *Мясные технологии*, 6, 20-21.
- Ленченко, Е. М. (1996). Морфофункциональные свойства и популяционная изменчивость иерсиний, поражающих сельскохозяйственных животных, в зависимости от температурного фактора. *Сельскохозяйственная биология*, 6, 88-95.
- Ленченко, Е. М., & Ванина, Н. Н. (2005). Морфология органов пищеварения и микрофлора кишечника цыплят при заражении *Escherichia coli*. *Сельскохозяйственная биология*, 4, 69-74.
- Ленченко, Е. М., Мансурова, Е. А., & Моторыгин, А. В. (2014). Характеристика токсигенности энтеробактерий, выделенных при желудочно-кишечных болезнях сельскохозяйственных животных. *Сельскохозяйственная биология*, 2, 94-104.
- Ленченко, Е. М., Кхай, Ф. В., Ватников, Ю. А., Медведев, И. Н., & Гаврилов, В. А. (2017). Этиологическая структура и дифференциальная диагностика сальмонеллеза птиц. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*, 12(4), 359-367. <http://dx.doi.org/10.22363/2312-797X-2017-12-4-359-367>
- Сачивкина, Н. П., Кравцов, Э. Г., & Васильева, Е. А. (2008). Изучение фермента литиказы как нового антимикотического препарата. *Вестник РУДН, серия Агрономия и животноводство*, 3, 37-43.
- Скородумов, Д. И., Ярикова, Ю. А., & Павлова, Е. В. (2012). Роль бактериальных биопленок в инфекционной патологии животных и пищевых производствах. *Ветеринария сельскохозяйственных животных*, 4, 4-7.
- Сысоева, Н. Ю., Субботин, В. В., & Верховская, Г. Л. (2003). Использование лактобифадола для коррекции нарушения деятельности желудочно-кишечного тракта ягнят при подготовке к дегельминтизации. *Ветеринарная патология*, 2(6), 44-46.
- Abdullaeva, A. M., Blinkova, L. P., Seryogin, I. G., Udavliev, D. I., Shikhov, S.S., & Pakhomov, Yu. D. (2019). Preventive treatment of drying chamber with uv radiation and ozonization for protection against spoilage of raw smoked sausages. *RAP Conference Proceedings*, 4, 206-211. <http://dx.doi.org/10.37392/RapProc.2019.42>
- Becerra, S. C., Roy, D. C., Sanchez, C. J., Christy, R. J., & Burmeister, D. M. (2016). An optimized staining technique for the detection of Gram positive and Gram negative bacteria within tissue. *BMC research notes*, 216(9), 10. <http://dx.doi.org/10.1186/s13104-016-1902-0>
- Beznaeva, O., Kirsh, I., Bannikova, O. (2018). Surface structure of electret polymeric materials in different process conditions by corona discharge. *Amazonia Investiga*, 7(14), 39-49.
- Cadavid, E., & Echeverri F. (2019). The Search for Natural Inhibitors of Biofilm Formation and the Activity of the Autoinductor C6-AHL in *Klebsiella pneumoniae* ATCC 13884. *Biomolecules*, 2(6), 1-12. <http://dx.doi.org/10.3390/biom9020049>
- Cai, Y., Yang, D., Wang, J., & Wang, R. (2018). Activity of colistin alone or in combination with rifampicin or meropenem in a carbapenem-resistant bioluminescent *Pseudomonas aeruginosa* intraperitoneal murine infection model. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 73(2), 456-461. <http://dx.doi.org/10.1093/jac/dkx399>
- Carreiro, A. P., Guedes, S. F., Panariello, B. H., Silveira, P. V., Janal, M. N., & Duarte, S. (2017). Farnesol Antibiofilm Activity against *Candida albicans* Reference and Mutant Strains. *Microbiology Research Journal International*, 22(6), 1-7. <http://dx.doi.org/10.9734/MRJI/2017/39345>
- Chandra, J., Kuhn, D. M., Mukherjee, P. K., Hoyer, L. L., McCormick, T., & Ghannoum, M. A. (2001). Biofilm formation by the fungal pathogen *Candida albicans*: development, architecture, and drug resistance. *Journal of bacteriology*, 183(18), 5385-5394. <http://dx.doi.org/10.1128/jb.183.18.5385-5394.2001>
- Fangjun, C., Zhangcheng, L., Shimei, L., Wei, L., Xiaoyan, Z., Zuoyong, S., Zhenhui, W., Juan, Z., & Manli, S. (2018). Characterization of *Klebsiella pneumoniae* associated with cattle infections in southwest China using multi-locus sequence typing (MLST), antibiotic resistance and virulence-associated gene profile analysis. *Brazilian Journal of Microbiology*, 1(49), 93-100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2018.06.004>
- Kontsevaya, S., & Shambazova, S. (2019). Electronic Certification as an Instrument of Effective Veterinary Control in the Turnover of Animal Origin Products. *Advances in Biological Sciences Research*, 7, 160-162. <https://dx.doi.org/10.2991/isils-19.2019.38>
- Kondakova, I. A., Lenchenko, E. M., & Lomova, J. V. (2016). Dynamics of immunologic indices in

- diseases of bacterial etiology and the correction of immune status of calves. *Journal of Global Pharma Technology*, 11(8), 8–11. <http://dx.doi.org/10.14202/JoGPT.2016.121-160>
- Lenchenko, E., Lozovoy, D., Strizhakov, A., Vatnikov, Yu., Byakhova, V., Kulikov, E., Sturov, N., Kuznetsov, V., Avdotin, V., & Grishin, V. (2019). Features of formation of *Yersinia enterocolitica* biofilms. *Veterinary World*, 12(1), 136–140. <http://dx.doi.org/10.14202/vetworld.2019.136-140>
- Lenchenko, E. M., Vatnikov, Y. A., Sotnikova, E. D., Kulikov, E. V. Gnezdilova., L. A., Seleznev, S. B., Strizhakov, A. A., & Kuznetsov, V. I. (2017). Experimental toxemia of chickens contaminated with *Yersinia enterocolitica* Bacteria. *Asian Journal of Pharmaceutics*, 11(1), 91–96. <http://dx.doi.org/10.22377/ajp.v11i01.1094>
- Maarten, G. K., & Ghequire, B. Ö. (2018). A Colicin M-Type Bacteriocin from *Pseudomonas aeruginosa* Targeting the HxuC Heme Receptor Requires a Novel Immunity Partner. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(18), 6–10. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.00716-18>
- Mannapova, R. T., & Shajhulow, R. R. (2018). Dynamics of *Lactobacillus* spp. against the backdrop of candidiasis in the digestive tract of geese. In *Scientific research of the SCO countries: Synergy and integration* (p. 248–252).
- McVay, C. S., Velásquez, M., & Fralick, J. A. (2007). Phage therapy of *Pseudomonas aeruginosa* infection in a mouse burn wound model. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 51(6), 1934–1938. <http://dx.doi.org/10.1128/AAC.01028-06>
- Nidaullah, H., Abirami, N., Shamila-Syuhada, A. K., Chuah, L. O., Nurul, H., Tan, T. P., Abidin, F. W., & Rusul, G. (2017). Prevalence of *Salmonella* in poultry processing environments in wet markets in Penang and Perlis. *Veterinary World*, 10(3), 286–292. <http://dx.doi.org/10.14202/vetworld.2017.286-292>
- Pakhomov, Y. D., Belus, S. K., Blinkova, L. P., Stoyanova, L. G., & Ustyugova, E. A. (2012). Experimental approach to the induction of nonculturable state of *Lactococcus lactis*. *Biochemistry and Biotechnology: Research and Development*, 7, 45–50.
- Pate, M., Mičunovič, J., Golob, M., Vestby, L. K., & Ocepek M. (2019). *Salmonella infantis* in broiler flocks in Slovenia: the prevalence of multidrug resistant strains with high genetic homogeneity and low biofilm-forming ability. *BioMed Research International*, 51(6), 238–242. <http://dx.doi.org/10.1155/2019/4981463>
- Sachivkina, N., Lenchenko, E., Strizakov, A., Zimina, V., Gnesdilov, L., Gavrilov, V., Byakhova, V., Germanova, S., Zharov, A., & Molchanova, M. (2018). The Evaluation of formation of biomembrane by microscopic Fungi of the *Candida* Genus. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 10(4), 738–744. <http://dx.doi.org/10.31838/ijpr/2018.10.04.128>
- Santos, T., Luana, O., Varjão, M., Nery, L., Silva, N., Castro, R., Pereirab, L., Hoferb, E., Cristina, D., Rogeria, V., & Almeida, C. (2018). *Listeria monocytogenes* at chicken slaughterhouse: Occurrence, genetic relationship among isolates and evaluation of antimicrobial susceptibility. *Food Control*, 88, 131–138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.015>
- Sicard, J-F., G. L., Bihan, P., Vogelee, M., & Jacques, J. (2017). Harel Interactions of Intestinal Bacteria with Components of the Intestinal Mucus. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 7 (387), 1–12. <http://dx.doi.org/10.3389/fcimb.2017.00387>
- Sushma, V., Nehra, V., & Jakhar, K. (2018). Aetio-Pathological studies of digestive and respiratory affections in lambs. *The Pharma Innovation Journal*, 5 (7), 100–105.
- Surgers, L., Boyd, A., Girard, P. M., Arlet, G., & Decré, D. (2019). Biofilm formation by ESBL-producing strains of *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. *International Journal of Medical Microbiology*, 309(1), 13–18.
- Rodríguez-Melcón, C., Riesco-Peláez, F., Carballo, J., García-Fernández, C., Capita, R., & Alonso-Calleja, C. (2018). Structure and viability of 24- and 72-h-old biofilms formed by four pathogenic bacteria on polystyrene and glass contact surfaces. *Food Microbiology*, 76, 513–517. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2018.06.016>
- Tankhiwale, S., & Nagar, H. (2016). Beta-lactamases in *P. aeruginosa*: A threat to clinical therapeutics. *Current Pediatric Research*, 20(12), 253–257.
- WHO, (2018). *Estimates of the global burden of foodborne diseases*. World Health Organization.
- Yadav, R., Bulitta, J. B., Wang, J., Nation, R. L., & Landersdorfer, C. B. (2017). Evaluation of Pharmacokinetic/Pharmacodynamic Model-Based Optimized Combination Regimens against Multidrug-Resistant *Pseudomonas aeruginosa* in a Murine Thigh Infection Model by Using Humanized Dosing Schemes. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 61(12), 8–11. <http://dx.doi.org/10.1128/AAC.01268-17>

The Indication of Biofilms and Non-Cultivated Microorganisms while Monitoring the Biological Safety of Food Raw Materials

Ekaterina M. Lenchenko

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: lenchenko.ekaterina@yandex.ru*

Nataliya Y. Sysoeva

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: 864365@mail.ru*

Dmitriy A. Blumenkrants

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: blumenkrants@inbox.ru*

The relevance of the study and the presence of gaps in existing knowledge on the topic. Monitoring the biosafety of food raw materials by microbiological indicators is an urgent problem due to an increase in the number of foodborne infections worldwide.

The aim of the work is to study the features of the formation of biofilms and uncultured microorganisms under various cultivation conditions.

Methods. Morphometric and densitometric indicators of biofilms and uncultured microorganisms were studied under various cultivation conditions. To study the growth and development of populations of microorganisms, media containing growth factors for cell wall repair and L-shape reversal of microorganisms were used.

Results and discussion. Microbiological control of critical points in animal husbandry technology and food production has examined the species composition and etiological significance of virulence factors of strains producing adhesive antigens, bacteriocins, hemolysins, toxins, extended-spectrum β -lactamases, which determine the tendency to increase multidrug resistance. The morphological and functional features of biofilms, which are communities of microorganisms that secrete the polymer matrix and adhere to tissues of susceptible animal species and abiotic surfaces of livestock buildings and food production, were studied. Direct correlative relationships between filamentation, dispersion multi-species biofilms of microorganisms and the development of dystrophic and necrotic processes in the tissues and organs of mammals and birds have been established. To optimize the microbiological diagnosis of infectious diseases, effective methods for detecting heteromorphous biofilms and uncultured microorganisms have been tested and selected. To prevent the formation of biofilms of pathogenic microorganisms, drugs that reduce the level of microbiological parameters of primary contamination are promising; minimize adhesive properties, as well as biocides that destroy the intercellular matrix.

Conclusions. The ability to form biofilms, the variability of phenotypic characters, the multiplicity of virulence factors, the emergence of resistant forms of bacteria due to the synthesis of exopolysaccharides, significantly reduce the effectiveness of antiepidemic and diagnostic measures. The development of accelerated methods for the detection of biofilms and the differentiation of uncultured microorganisms will make it possible to scientifically substantiate and develop a set of measures aimed at preventing animal diseases and obtaining safe livestock products in order to prevent human diseases.

Keywords: adhesion, matrix, biofilms, bacteriocins, hemolysins, dissemination, colonization resistance, L-forms, uncultured microorganisms

How to Cite

Lenchenko, E. M., Sysoeva, N. Y., & Blumenkrants, D. A. (2019). The Indication of Biofilms and Non-Cultivated Microorganisms while Monitoring the Biological Safety of Food Raw Materials. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s260>

References

- Abdullaeva, A. M., Smirnova, I. R., Trochemets, E. V., & Gubankova A. A. (2017). Microbiological control of semi-finished products from turkey meat during refrigerated storage. *Veterinariya* [Veterinary Science], 8, 49–53.
- Andryukov, B. G., Somova, L. M., Matosova, E. V., & Lyapun, I. N. (2018). Phenotypic plasticity of bacteria as a strategy of resistance and an object of modern antimicrobial technologies. *Sovremennye tekhnologii v medicine* [Modern technologies in medicine], 11(2), 164–182. <http://dx.doi.org/10.17691/stm2018.11.2.22>
- Bakumenko, O. E., Andreeva, A. A., & Alekseenko, E. V. (2019). Study of the influence of prescription ingredients on the quality indicators of canned meat for baby food. *Health, Food and Biotechnology*, 1(1), 61–74. <http://dx.doi.org/10.36107/hfb.2019.i1.s3>.
- Blinkova, L.P., Pakhomov, Yu.D., & Stoyanova, L.G. (2010). Properties of uncultivated and resting forms of microorganisms. *Immunopatologiya, allergologiya, infektologiya* [Immunopathology, allergology, infectology], 3, 67–76.
- Glamazdin, I.G., Sysoeva, N.Yu., Sikoeva, P. K., Pershina, T. A., & Kryukovskaya, G. M. (2019). The defeat of pork tissue cysts, the control of raw materials with sarcocystosis. *Rossiiskij zhurnal Problemy veterinarnoj sanitarii, gigieny i ekologii* [Russian Journal of Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology], 2(30), 121–125. <http://dx.doi.org/10.25725/vet.san.hyg.ecol.201902002>.
- Kirsh, I. A., & Frolova, Yu. V. (2016) Antimicrobial packaging materials for the meat industry. *Myasnye tekhnologii* [Meat Technologies], 6, 20–21.
- Lenchenko E. M. (1996). Morphofunctional properties and population variability of Yersinia affecting farm animals, depending on the temperature factor. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 6, 88–95.
- Lenchenko E. M., Vanina N. N. (2005). Morphology of the digestive organs and intestinal microflora of chickens infected with Escherichia coli. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 4, 69–74.
- Lenchenko, E. M., Mansurova, E. A., & Motorygin, A. V. (2014). Characterization of toxigenicity of enterobacteria isolated in gastrointestinal diseases of farm animals. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural Biology], 2, 94–104.
- Lenchenko, E. M., Khai, F. V., Vatnikov, Yu. A., Medvedev, I. N., & Gavrilov, V. A. (2017). Etiological structure and differential diagnosis of avian salmonellosis. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Livestock], 12(4), 359–367. <http://dx.doi.org/0.22363/2312-797X-2017-12-4-359-367>.
- Sachivkina, N. P., Kravtsov, E. G., & Vasilieva, E. A. (2008). The study of the enzyme lithicase as a new antimycotic drug. *Vestnik Rossijskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* [Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia. Series: Agronomy and Livestock], 3, 37–43.
- Skorodumov, D. I., Yarikova, Yu. A., & Pavlova, E. V. (2012). The role of bacterial biofilms in the infectious pathology of animals and food production. *Veterinariya sel'skohozyajstvennykh zhivotnykh* [Veterinary of farm animals], 4, 4–7.
- Sysoeva, N. Yu., Subbotin, V. V., & Verkhovskaya, G. L. (2003). The use of lactobifadol to correct the violation of the gastrointestinal tract of lambs in preparation for deworming. *Veterinarnaya patologiya* [Veterinary Pathology], 2(6), 44–46.
- Abdullaeva, A. M., Blinkova, L. P., Seryogin, I. G., Udavliev, D. I., Shikhov, S. S., & Pakhomov, Yu. D. (2019). Preventive treatment of druing chamber with uv radiation and ozonization for protection against spoilage of raw smoked sausages. *RAP Conference Proceedings*, 4, 206–211. <http://dx.doi.org/10.37392/RapProc.2019.42>
- Becerra, S. C., Roy, D. C., Sanchez, C. J., Christy, R. J., & Burmeister, D. M. (2016). An optimized staining technique for the detection of Gram positive and Gram negative bacteria within tissue. *BMC research notes*, 216(9), 10. <http://dx.doi.org/10.1186/s13104-016-1902-0>
- Beznaeva, O., Kirsh, I., Bannikova, O. (2018). Surface structure of electret polymeric materials in different process conditions by corona discharge. *Amazonia Investiga*, 7(14), 39–49.
- Cadavid, E., & Echeverri F. (2019). The Search for Natural Inhibitors of Biofilm Formation and the Activity of the Autoinductor C6-AHL in Klebsiella pneumoniae ATCC 13884. *Biomolecules*, 2(6), 1–12. <http://dx.doi.org/10.3390/biom9020049>
- Cai, Y., Yang, D., Wang, J., & Wang, R. (2018). Activity of colistin alone or in combination with rifampicin or meropenem in a carbapenem-resistant bioluminescent Pseudomonas aeruginosa intraperitoneal murine infection model. *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*, 73(2), 456–461. <http://dx.doi.org/10.1093/jac/dkx399>
- Carreiro, A. P., Guedes, S. F., Panariello, B. H., Silveira, P. V., Janal, M. N., & Duarte, S. (2017). Farnesol Antibiofilm Activity against Candida albicans Reference and Mutant Strains. *Microbiology Research Journal International*, 22(6), 1–7. <http://dx.doi.org/10.9734/MRJI/2017/39345>
- Chandra, J., Kuhn, D. M., Mukherjee, P. K., Hoyer, L. L.,

- McCormick, T., & Ghannoum, M. A. (2001). Biofilm formation by the fungal pathogen *Candida albicans*: development, architecture, and drug resistance. *Journal of bacteriology*, 183(18), 5385–5394. <http://dx.doi.org/10.1128/jb.183.18.5385-5394.2001>
- Fangjun, C., Zhangcheng, L., Shimei, L., Wei, L., Xiaoyan, Z., Zuoyong, S., Zhenhui, W., Juan, Z., & Manli, S. (2018). Characterization of *Klebsiella pneumoniae* associated with cattle infections in southwest China using multi-locus sequence typing (MLST), antibiotic resistance and virulence-associated gene profile analysis. *Brazilian Journal of Microbiology*, 1(49), 93–100. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bjm.2018.06.004>
- Kontsevaya, S., & Shambazova, S. (2019). Electronic Certification as an Instrument of Effective Veterinary Control in the Turnover of Animal Origin Products. *Advances in Biological Sciences Research*, 7, 160–162. <https://dx.doi.org/10.2991/isils-19.2019.38>
- Kondakova, I. A., Lenchenko, E. M., & Lomova, J. V. (2016). Dynamics of immunologic indices in diseases of bacterial etiology and the correction of immune status of calves. *Journal of Global Pharma Technology*, 11(8), 8–11. <http://dx.doi.org/10.14202/JoGPT.2016.121-160>
- Lenchenko, E., Lozovoy, D., Strizhakov, A., Vatnikov, Yu., Byakhova, V., Kulikov, E., Sturov, N., Kuznetsov, V., Avdotin, V., & Grishin, V. (2019). Features of formation of *Yersinia enterocolitica* biofilms. *Veterinary World*, 12(1), 136–140. <http://dx.doi.org/10.14202/vetworld.2019.136-140>
- Lenchenko, E. M., Vatnikov, Y. A., Sotnikova, E. D., Kulikov, E. V., Gnezdilova, L. A., Seleznev, S. B., Strizhakov, A. A., & Kuznetsov, V. I. (2017). Experimental toxemia of chickens contaminated with *Yersinia enterocolitica* Bacteria. *Asian Journal of Pharmaceutics*, 11(1), 91–96. <http://dx.doi.org/10.22377/ajp.v11i01.1094>
- Maarten, G. K., & Ghequire, B. Ö. (2018). A Colicin M-Type Bacteriocin from *Pseudomonas aeruginosa* Targeting the HxuC Heme Receptor Requires a Novel Immunity Partner. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(18), 6–10. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.00716-18>
- Mannapova, R. T., & Shajhulow, R. R. (2018). Dynamics of *Lactobacillus* spp. against the backdrop of candidiasis in the digestive tract of geese. In *Scientific research of the SCO countries: Synergy and integration* (p. 248–252).
- McVay, C. S., Velásquez, M., & Fralick, J. A. (2007). Phage therapy of *Pseudomonas aeruginosa* infection in a mouse burn wound model. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 51(6), 1934–1938. <http://dx.doi.org/10.1128/AAC.01028-06>
- Nidaullah, H., Abirami, N., Shamila-Syuhada, A. K., Chuah, L. O., Nurul, H., Tan, T. P., Abidin, F. W., & Rusul, G. (2017). Prevalence of *Salmonella* in poultry processing environments in wet markets in Penang and Perlis. *Veterinary World*, 10(3), 286–292. <http://dx.doi.org/10.14202/vetworld.2017.286-292>
- Pakhomov, Y. D., Belus, S. K., Blinkova, L. P., Stoyanova, L. G., & Ustyugova, E. A. (2012). Experimental approach to the induction of nonculturable state of *Lactococcus lactis*. *Biochemistry and Biotechnology: Research and Development*, 7, 45–50.
- Pate, M., Mičunovič, J., Golob, M., Vestby, L. K., & Ocepek M. (2019). *Salmonella infantis* in broiler flocks in Slovenia: the prevalence of multidrug resistant strains with high genetic homogeneity and low biofilm-forming ability. *BioMed Research International*, 51(6), 238–242. <http://dx.doi.org/10.1155/2019/4981463>
- Sachivkina, N., Lenchenko, E., Strizakov, A., Zimina, V., Gnesdilov, L., Gavrilov, V., Byakhova, V., Germanova, S., Zharov, A., & Molchanova, M. (2018). The Evaluation of formation of biomembrane by microscopic Fungi of the *Candida* Genus. *International Journal of Pharmaceutical Research*, 10(4), 738–744. <http://dx.doi.org/10.31838/ijpr/2018.10.04.128>
- Santos, T., Luana, O., Varjão, M., Nery, L., Silvae, N., Castro, R., Pereirab, L., Hoferb, E., Cristina, D., Rogeria, V., & Almeida, C. (2018). *Listeria monocytogenes* at chicken slaughterhouse: Occurrence, genetic relationship among isolates and evaluation of antimicrobial susceptibility. *Food Control*, 88, 131–138. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2018.01.015>
- Sicard, J-F., G. L., Bihan, P., Vogelee, M., & Jacques, J. (2017). Harel Interactions of Intestinal Bacteria with Components of the Intestinal Mucus. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 7 (387), 1–12. <http://dx.doi.org/10.3389/fcimb.2017.00387>
- Sushma, V., Nehra, V., & Jakhar, K. (2018). Aetio-Pathological studies of digestive and respiratory affections in lambs. *The Pharma Innovation Journal*, 5 (7), 100–105.
- Surgers, L., Boyd, A., Girard, P. M., Arlet, G., & Decré, D. (2019). Biofilm formation by ESBL-producing strains of *Escherichia coli* and *Klebsiella pneumoniae*. *International Journal of Medical Microbiology*, 309(1), 13–18.
- Rodríguez-Melcón, C., Riesco-Peláez, F., Carballo, J., García-Fernández, C., Capita, R., & Alonso-Calleja, C. (2018). Structure and viability of 24- and 72-h-old biofilms formed by four pathogenic bacteria on polystyrene and glass contact surfaces. *Food Microbiology*, 76, 513–517. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fm.2018.06.016>
- Tankhiwale, S., & Nagar, H. (2016). Beta-lactamases in *P. aeruginosa*: A threat to clinical therapeutics.

Current Pediatric Research, 20(12), 253–257.

WHO, (2018). *Estimates of the global burden of foodborne diseases*. World Health Organization.

Yadav, R., Bulitta, J. B., Wang, J., Nation, R. L., & Landersdorfer, C. B. (2017). Evaluation of Pharmacokinetic/Pharmacodynamic Model-

Based Optimized Combination Regimens against Multidrug-Resistant *Pseudomonas aeruginosa* in a Murine Thigh Infection Model by Using Humanized Dosing Schemes. *Antimicrobial agents and chemotherapy*, 61(12), 8–11. <http://dx.doi.org/10.1128/AAC.01268-17>

Получение готового завтрака в виде хлопьев из зерна тритикале

Гуныкин Владимир Александрович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: biobind@mail.ru

Сусянок Георгий Михайлович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: aussitot@mail.ru

Вани Джаваид Ахмад

Шер-э-кашмирский университет сельскохозяйственных наук и технологий

Адрес: 190025, город Кашмир, Шалимарское шоссе, Индия

E-mail: wanijavid1@gmail.com

Показана актуальность производства зерновых продуктов высокой степени готовности и расширения сырьевой базы путем использования зерна тритикале. Обоснованы рациональные режимы ИК-обработки зерна тритикале при получении из него нового продукта в виде хлопьев с высокими пищевыми и потребительскими достоинствами. Изучено влияние ИК-обработки на физические и биохимические свойства зерна тритикале. Показано, что основными параметрами, определяющими режимы ИК-обработки зерна тритикале, являются влажность зерна, плотность (интенсивность) падающего потока лучистой энергии и время облучения. Изучено влияние различных режимов ИК-обработки на белки и углеводы зерна тритикале. Показано влияние интенсивности ИК-обработки зерна тритикале на степень декстринизации крахмала и на плотность зерновок. Исследовано влияние ИК-обработки на изменение суммы водорастворимых веществ зерна тритикале вследствие разрушения крахмала до декстринов и снижения растворимости белков в результате их денатурации. Установлено влияние ИК-обработки на атакуемость крахмала амилазами. Исследовано влияние режимов ИК-обработки на степень денатурации и фракционный состав белков зерна тритикале. Изучено влияние плющения зерна на углеводный комплекс и интенсификации ИК-обработки на потребительские достоинства хлопьев. Исследовано влияние ИК-обработки на кислотность водной и спиртовой вытяжек, содержание клетчатки. Показаны оптимальные режимы ИК-обработки для клейстеризации крахмала и образования декстринов. Изучены физико-химические изменения в зерне тритикале при его плющении в хлопья после ИК-обработки. Обосновано получение нового пищевого продукта быстрого приготовления в виде хлопьев, обладающих высокой пищевой ценностью и высоким содержанием пищевых волокон, который может быть использован в качестве сухого завтрака.

Ключевые слова: ИК-обработка, декстринизация крахмала, водорастворимые вещества, денатурация белков, амилазы, фракционный состав белков, кислотность, клейстеризация крахмала, плющение

Введение

В настоящее время одним из направлений в развитии технологии переработки зернового сырья является производство новых видов продуктов, не требующих длительной кулинарной обработки. Это, например, продукты детского и диетического питания, готовые завтраки¹.

Тритикале представляет собой гибрид пшеницы и ржи, совмещающий в себе признаки обоих родителей. Зерновка у тритикале обычно более длинная, чем у пшеницы и более широкая, чем у ржи. Натура зерна тритикале выше, чем у ржи, но несколько ниже, чем у пшеницы. Белки тритикале содержат больше такой важной незаменимой аминокислоты, как лизин, по сравнению с белками пшеницы.

¹ Гуныкин, В. А. & Сусянок, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из шелушеного зерна ячменя. Патент РФ, № 2512240.

Как цитировать

Гуныкин, В. А., Сусянок, Г. М., & Вани, Д. А. (2019). Получение готового завтрака в виде хлопьев из зерна тритикале. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s263>

Важнейший хлебный злак — пшеница обладает весьма ценными качествами как сырье для пищевой промышленности, однако получению высоких урожаев в России препятствует недостаточная стойкость ее по отношению к суровой зиме и к засухе. Рожь — традиционная российская зерновая культура, но она уступает пшенице по своей ценности. Тритикале по качеству зерна превосходит рожь и почти не уступает пшенице, а по устойчивости к неблагоприятным почвенно-климатическим условиям превосходит пшеницу и не уступает ржи. Поэтому использование тритикале в России весьма актуально.

В условиях отечественного сельского хозяйства, особенно в Западной Сибири, актуально выращивание зимостойких сортов зерновых, поэтому перспективным является возделывание тритикале (Козлов, 2018; Cheshkova, 2018). Селекционерами России выведены сорта тритикале с укороченным межфазным периодом «всходы—колошение», что сокращает общую продолжительность вегетационного периода тритикале и это дает возможность выращивать тритикале в районах рискованного земледелия (Степочкин, 2017). Актуальным является генетическое разнообразие зерновых культур и создание более продуктивных и устойчивых к неблагоприятным факторам среды сортов, что также является ключевой проблемой селекции, которая может быть решена возделыванием перспективных сортов тритикале в Западной Сибири (Стасюк, 2017). Россия — территория рискованного земледелия, поэтому выращивание тритикале здесь особенно актуально.

Развитие производства зерновых продуктов высокой степени готовности к потреблению является актуальной задачей. В производстве таких продуктов особенно перспективно использование ИК-облучения. ИК-обработка используется не только в таких отраслях пищевой промышленности, как кондитерская, хлебопекарная, мясная, молочная, но и в текстильной промышленности, например, для морки куколки коконов тутового шелкопряда (Авазов, 2017). Полученные при ИК-обработке сухие завтраки из зернового сырья широко используются в питании населения ряда стран². При этом необходимо решать вопрос о расширении сырьевой

базы производства готовых завтраков, в частности путем использования зерна тритикале.

Целью проведенных исследований являлось обоснование рациональных режимов ИК-обработки зерна тритикале при получении из него нового продукта высокой пищевой ценности и высоким содержанием пищевых волокон в виде хлопьев. Хлопья из обработанного ИК-лучами зерна тритикале могут быть использованы в качестве готового к употреблению продукта в виде сухого завтрака³.

В соответствии с поставленной целью задачами исследований являлись:

1. Изучение влияния различных режимов ИК-обработки на белки и углеводы зерна тритикале;
2. Изучение физико-химических изменений в зерне тритикале при его плющении в хлопья после ИК-обработки;
3. Разработка рациональных режимов ИК-обработки зерна тритикале с целью получения из него нового продукта с высокими пищевыми и потребительскими достоинствами.

Методика исследования

Материалы

В качестве материала исследования было использовано зерно тритикале, выращенное в Российской Федерации урожаями 2016 и 2017 гг.

Оборудование

ИК-обработку тритикале проводили на установке с генераторами ИК-излучения светлого типа КГТ-220-1000 с максимальным излучением при длине волны $\lambda = 0,9-1,1$ мкм⁴. Обработанное ИК-лучами зерно тритикале плющили в хлопья на лабораторном плющильном станке с гладкими валками⁵.

Для экспериментального исследования процесса ИК-обработки зерна тритикале была использована ИК-установка. Она состоит из терморadiационной камеры, внутри облицованной полированным алюминием с высоким коэффициентом отражения, что позволяет за счет многократного отражения

² Краснова, Ю. В., Бутова, С. Н., Гунькин, В. А., Пурецкий, А. А. & Суслынок, Г. М. (2017). Способ производства пектинсодержащего продукта из шелушенных семян подсолнечника. Патент РФ, № 2619241.

³ Гунькин, В. А., & Суслынок, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из шелушенного зерна овса. Патент РФ, № 2504214.

⁴ Беляева, М. А., & Безотосова, О. К. (2018). Многофункциональная трехъярусная печь с использованием современных электрофизических методов нагрева пищевых продуктов. Патент РФ, № 2649824.

⁵ Беляева, М. А., & Безотосова, О.К. (2017). Способы тепловой обработки мясных полуфабрикатов с использованием современных электрофизических методов нагрева. Патент РФ, № 2638546.

создать внутри камеры более равномерный поток диффузионного облучения, повысить КПД установки, а также уменьшить потери тепла в окружающую среду⁶. В качестве генератора ИК-излучения применены излучатели типа КГТ-220-1000, которые крепятся к токоведущим шинам медными клеммами. Генераторы установлены сверху и снизу специальной сетчатой рамки, которая может перемещаться с помощью направляющих в вертикальном направлении. На сетчатую рамку помещается зерно тритикале. Нижний блок излучателей также может перемещаться в вертикальном направлении. Перемещение сетчатой рамки и нижнего блока излучателей позволяет регулировать плотность потока, падающего на зерно. Имеет место зависимость плотности падающего потока излучения в камере установки от высоты расположения излучателей типа КГТ-220-1000. Плотность потока в терморadiационной камере определяли с помощью радиационного термoeлемента Козырева⁷.

Экспериментальная установка снабжена вентилятором. С его помощью в терморadiационную камеру может нагнетаться воздух, температура которого поддерживается постоянно и фиксируется по контактному термометру. Для равномерного распределения воздуха на поверхности зерна тритикале на выходе из патрубка вентилятора имеется диффузор, расширенный в горизонтальной плоскости. Для снятия температурных полей в обрабатываемом ИК-лучами зерне тритикале использовались хромель-копелевые термопары. Автоматическую запись температуры осуществляли многоточечным потенциометром. Перед каждой серией опытов термопары градуировали. Продолжительность ИК-обработки образца зерна тритикале при заданной плотности потока ИК-излучения определяли временем достижения необходимой температуры в центре образца⁸.

Методы

Влажность зерна определяли по ГОСТ «Зерно. Метод определения влажности» (13586.5-2015), хлопьев — по ГОСТ «Концентраты пищевые. Методы определения влаги» (15113.4-77), содержание белка — по ГОСТ «Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка» (10846-91), фракцион-

ный состав белков — по методу Ермакова (Ермаков, 1972), содержание водорастворимого белка — по методу Лоури (Lowry, 1951), декстринов — спектрофотометрическим методом Попова и Шаненко (Попов, 1977), клетчатки — по методу Кюршнера и Ганака (Ермаков, 1972), восстанавливающих сахаров — по методу Бертрана⁹, сумму водорастворимых веществ — на рефрактометре¹⁰, кислотность зерна — по водной и спиртовой вытяжкам (Озолин, 1941), степень клейстеризации крахмала — методом *Dalla Rosa*, основанным на измерении светопоглощения комплекса крахмал-йод в водной дисперсии образца до и после полной клейстеризации (*Dalla Rosa*, 1989), плотность зерна определяли по количеству вытесненной жидкости (гексана) навеской зерна массой 5 г.

Процедура исследования

Зерно тритикале, очищенное от примесей, увлажняли до влажности от 15 до 34% и отволаживали от 3 до 12 часов, что необходимо для равномерного распределения влаги внутри зерна. Затем зерно подвергали действию ИК-лучей. При одинаковых режимах ИК-обработки мелкое зерно претерпевает более глубокие изменения, чем крупное¹¹. Поэтому в ходе эксперимента зерно тритикале калибровали по крупности. Эффективность ИК-обработки оценивали по плотности зерновки тритикале.

После обработки тритикале ИК-лучами зерно в горячем состоянии плющили в хлопья.

Анализ данных

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения Statistica 6.0.

Результаты

В качестве биохимического показателя, характеризующего влияние интенсивности ИК-обработки тритикале на крахмал, была выбрана степень декстринизации крахмала¹². На диаграмме 1 показано изменение содержания декстринов при обработке зерна разной исходной влажности (от 14 до 30%) в течение 60 с. Из диаграммы видно, что более влажное зерно при большей интенсивности

⁶ Гунькин, В. А., & Сусяняков, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из фуражного зерна пшеницы. Патент РФ, № 2508684.

⁷ Гунькин, В. А., & Сусяняков, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из зерна кукурузы (кроме лопающейся). Патент РФ, № 2507875.

⁸ Белоносов, А. И., & Свиридов, Н. Г. (2017). Интегральный доильно-пастеризационный молочный комплекс. Патент РФ, № 2615810.

⁹ Плешков, Б. П. (1985). Определение редуцирующих сахаров. Практикум по биохимии растений (с. 104-109). Москва: Колос.

¹⁰ Лурье, И. С. (1978). Рефрактометрия. Руководство по теххимическому контролю в кондитерской промышленности (с. 41-49). Пищевая промышленность.

¹¹ Гунькин, В. А., & Сусяняков, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из зерна пшеницы. Патент РФ, № 2512146.

¹² Гунькин, В. А., & Сусяняков, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из фуражного зерна ячменя. Патент РФ, № 2504208.

ИК-обработки дает большее количество декстринов. Однако с увеличением влажности зерна растут энергозатраты для достижения примерно одинаковой степени декстринизации крахмала (см. Диаграмма 2), поэтому увлажнение зерна тритикале до влажности более 20% нецелесообразно.

В качестве физического показателя, характеризующего влияние интенсивности ИК-обработки тритикале на крахмал, выбрана плотность¹³. Этот показатель уменьшается с увеличением интенсивности ИК-обработки. Наиболее существенные изменения наблюдаются в интервале 10–20 кВт/м².

В таблице 1 представлены экспериментальные данные физико-химических изменений зерна

тритикале при различных режимах ИК-обработки. Воздействие ИК-лучей визуально наиболее ярко проявляется в изменении объема зерновки тритикале¹⁴. При оптимальном режиме обработки в течение 60 с плотность зерновки уменьшается примерно в 2 раза и соответственно в 2 раза увеличивается ее объем.

ИК-обработка тритикале сопровождается разрушением крахмала и образованием декстринов¹⁵. Одновременно снижается растворимость белков за счет их денатурации¹⁶. Совокупность этих двух процессов определяет характер изменения суммы водорастворимых веществ тритикале от 12% в исходном зерне до 16% в интенсивно обработанном ИК-лучами. Кислотность водной вытяжки не ме-

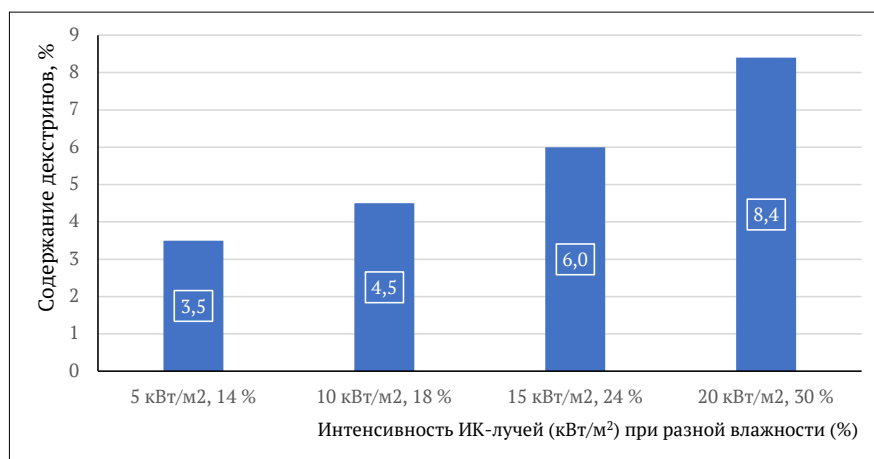


Диаграмма 1. Влияние интенсивности ИК-лучей при разной влажности на декстринизацию крахмала тритикале

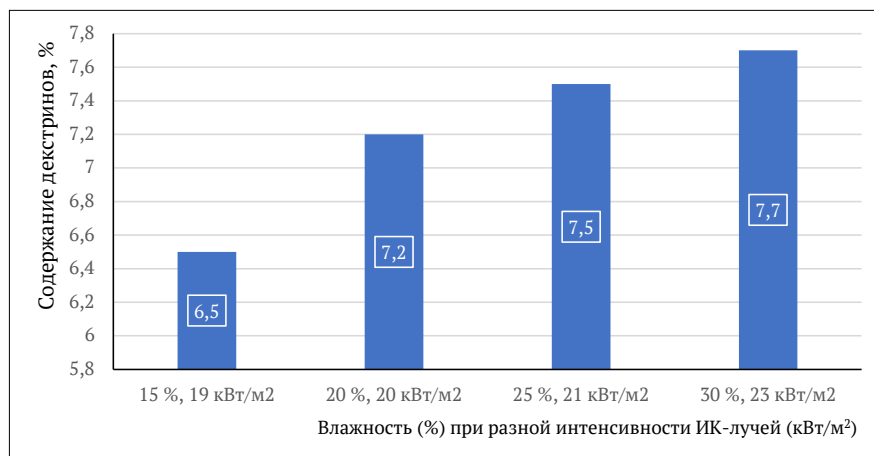


Диаграмма 2. Влияние исходной влажности при разной интенсивности ИК-лучей на декстринизацию крахмала тритикале

¹³ Гунькин, В. А., & Суслиянок, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из зерна ржи. Патент РФ, № 2536920.

¹⁴ Гунькин, В. А., & Суслиянок, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из зерна тритикале. Патент РФ, № 2504213.

¹⁵ Гунькин, В. А., & Суслиянок, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из фуражного зерна кукурузы (кроме лопающейся). Патент РФ, № 2508686.

¹⁶ Гунькин, В. А., & Суслиянок, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из фуражного зерна ржи. Патент РФ, № 2508687.

няется, а кислотность спиртовой вытяжки уменьшается, по-видимому, вследствие потери летучих компонентов липидной фракции в результате ИК-обработки. Содержание клетчатки в зерне тритикале не изменяется под воздействием ИК-лучей.

В таблице 2 представлены данные влияния ИК-обработки на степень клейстеризации крахмала и образование декстринов. При оптимальном режиме ИК-обработки степень клейстеризации крахмала приближается к 24%, а содержание декстринов к 8%. Таким образом, ИК-обработка тритикале с получением «взорванных» зерен вызывает деструкцию крахмала, сопровождающуюся его частичной клейстеризацией и образованием декстринов.

Крахмал необработанного зерна тритикале характеризуется низкой атакуемостью ферментами, и

увеличение количества фермента от 1 до 5 мг/мл не приводит к существенному росту продуктов гидролиза (декстринов и мальтозы) (см. Диаграмма 3, 4). После ИК-обработки атакуемость крахмала резко возрастает: во-первых, снижается количество декстринов (см. Диаграмма 5) и, во-вторых, количество образовавшейся мальтозы становится пропорциональным концентрации фермента (см. Диаграмма 6).

Экспериментальные данные об изменении фракционного состава белков зерна тритикале при ИК-обработке представлены в таблице 3.

Характеристика хлопьев из обработанного ИК-лучами зерна тритикале представлена в таблице 4. При оптимальном режиме ИК-обработки зерна тритикале (интенсивность ИК-лучей 20 кВт/м²,

Таблица 1

Физико-химические изменения в зерне тритикале при ИК-обработке

Время обработки, с	Плотность зерновок, % от исх.	Водопоглотительная способность, % от исх. массы	Декстрины, %	Водорастворимые белки, %	Сумма водорастворимых веществ, %	Клетчатка, %	Кислотность по водной вытяжке, град.	Кислотность по спиртовой вытяжке, град.
0	100,0	60	0,5	1,9	14	3,6	4,1	5,6
30	91,5	90	3,0	1,0	14	3,6	3,8	5,5
40	82,0	107	3,9	0,8	15	3,6	3,7	5,4
50	67,3	120	5,3	0,7	16	3,6	3,7	5,4
60	50,8	142	7,8	0,6	17	3,6	3,7	5,1
70	47,6	151	8,4	0,5	18	3,6	3,7	4,9

Таблица 2

Изменение степени клейстеризации крахмала и содержание декстринов в зерне тритикале в зависимости от режима ИК-обработки

Время обработки, с	Степень клейстеризации, %	Содержание декстринов, %
0	0,0	0,5
30	4,5	2,8
40	8,7	3,7
50	18,2	5,5
60	23,8	7,8

Таблица 3

Влияние ИК-обработки на изменение фракционного состава белков зерна тритикале

Образец	Водорастворимые белки, %	Солерастворимые белки, %	Спирторастворимые белки, %	Щелочерастворимые белки, %а	Белки в остатке, %
Исходный	25,3	14,4	20,1	30,0	10,2
ИК-обработанный	8,2	9,4	15,7	35,3	31,4

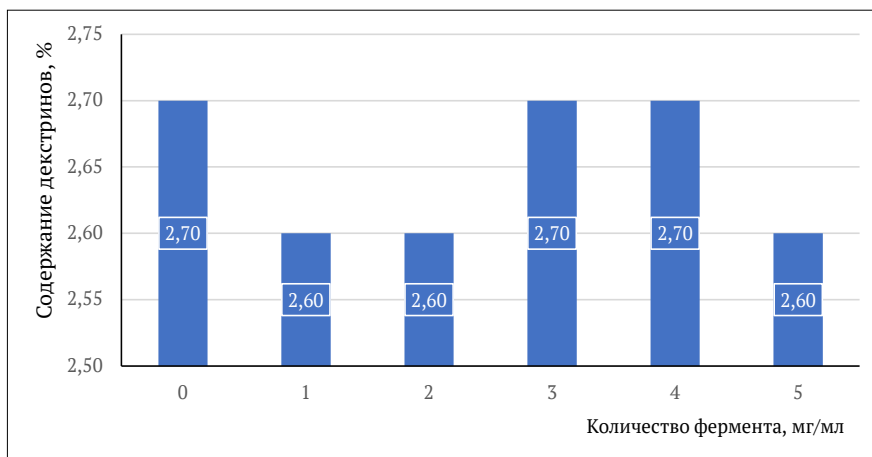


Диаграмма 3. Влияние ИК-обработки на атакуемость крахмала зерна тритикале амилазами: содержание декстринов в исходном зерне

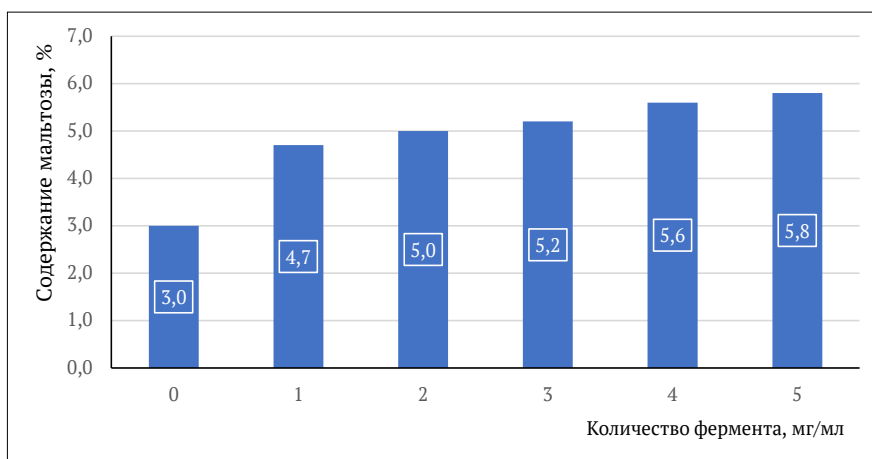


Диаграмма 4. Влияние ИК-обработки на атакуемость крахмала зерна тритикале амилазами: содержание мальтозы в исходном зерне

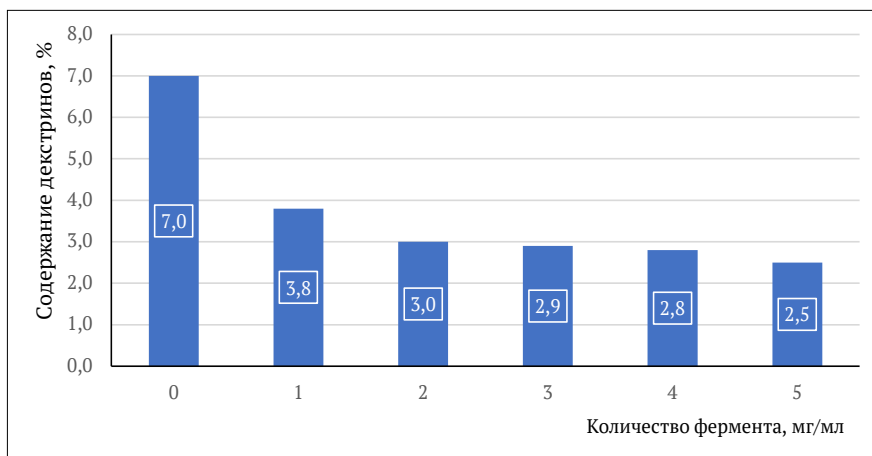


Диаграмма 5. Влияние ИК-обработки на атакуемость крахмала зерна тритикале амилазами: содержание декстринов в зерне после ИК-обработки

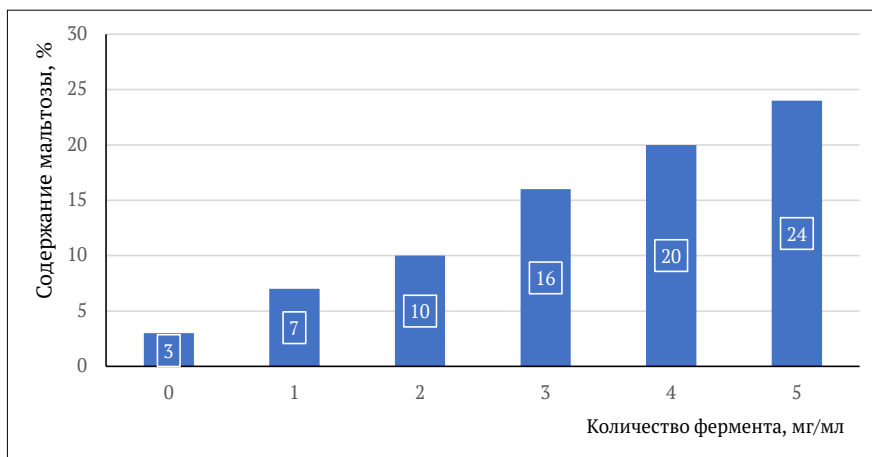


Диаграмма 6. Влияние ИК-обработки на атакуемость крахмала зерна тритикале амилазами: содержание мальтозы в зерне после ИК-обработки

время обработки 60 с.) толщина хлопьев минимальна, влажность хлопьев около 10%, содержание декстринов около 9%.

Обсуждение полученных результатов

Основными параметрами, определяющими режимы ИК-обработки зерна тритикале, являются влажность зерна, плотность (интенсивность) падающего потока лучистой энергии и время облучения¹⁷. Скорость нагрева зерна является основным фактором обработки с целью изменения его структуры (Егоров, 1984; Красников, 1978).

При медленном нагреве зерна происходит его постепенная сушка. Влага, содержащаяся внутри зерна, удаляется из него, не нарушая структуры зерна. При быстром нагреве зерна тритикале происходит испарение влаги внутри зерновки, что приводит к

увеличению давления водяных паров внутри зерна тритикале¹⁸. Зерновка «взрывается» изнутри, в результате чего разрушается структурный каркас зерна. Использование для ИК-обработки зерна тритикале коротковолнового диапазона ИК-излучения 0,9–1,1 мкм обеспечивает равномерный прогрев зерна по всему объему¹⁹.

Обработка зерна тритикале ИК-лучами, приводящая к «взрыву» зерновки изнутри, существенно влияет на состояние всех компонентов зерновки, затрагивая белковый, углеводный и липидный комплексы. Характер и глубина изменений зависят от режимов ИК-обработки.

Наибольшие изменения в результате ИК-обработки претерпевает углеводный комплекс зерна тритикале и прежде всего крахмал. Так как водяной пар при этом заполняет весь межмолекулярный объем, то разрушению подвергаются все крах-

Таблица 4

Характеристика хлопьев из зерна тритикале после ИК-обработки

Время обработки, с	Влажность зерна перед плющением, %	Влажность хлопьев, %	Толщина хлопьев, мм	Содержание крошки, %	Содержание декстринов до плющения, %	Содержание декстринов после плющения, %
0	11,3	10,5	1,3	5,3	0,5	1,0
50	14,5	12,0	0,7	6,7	5,5	6,4
55	126	10,4	0,6	7,6	6,3	7,5
60	11,2	9,8	0,6	8,1	7,8	8,9
70*	10,4	8,2	0,7	10,3	8,4	9,4

Примечание. * Режим обработки дает подгоревшее зерно.

¹⁷ Гуныкин, В. А., & Сусянок, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из фуражного зерна тритикале. Патент РФ, № 2504209.

¹⁸ Бутова, С. Н., Гуныкин, В. А., Пурецкий, А. А., & Сусянок, Г. М. (2017). Способ производства пектинсодержащего продукта из зерна льна. Патент РФ, № 2619385.

¹⁹ Гуныкин, В. А., & Сусянок, Г. М. (2014). Способ производства хлопьев из фуражного зерна овса. Патент РФ, № 2512151.

мальные гранулы зерновки тритикале.

Инфракрасная обработка оказывает существенное влияние на атакуемость крахмала тритикале ферментами амилазами.

При обработке зерна тритикале ИК-лучами происходит денатурация белков, содержание белкового азота при этом остается постоянным. Существенно уменьшается содержание водорастворимых и солерастворимых белков, увеличивается содержание щелочерастворимых белков и белков в остатке.

Плющение зерна в хлопья сопровождается дополнительной деструкцией крахмала и увеличением количества декстринов в продукте. Интенсификация ИК-обработки приводит к увеличению количества крошки при плющении зерна.

Заключение

На основании проведенных научных исследований оптимальными режимами ИК-обработки зерна тритикале являются: увлажнение зерна до влажности 18–20%, отволаживание в течение 5–6 ч, обработка ИК-лучами интенсивностью 20 кВт/м² в течение 60–65 с. Непосредственно после ИК-обработки зерно тритикале в горячем состоянии плющат в хлопья.

Технология получения нового пищевого продукта из целого зерна тритикале позволяет сохранить клетчатку (3,6%), что объясняется присутствием оболочек зерна тритикале при ИК-обработке.

Таким образом получен новый продукт в виде хлопьев из зерна тритикале, обладающий высокой пищевой ценностью и высоким содержанием пищевых волокон. Он имеет хороший внешний вид, приятный запах и вкус, практически не требует варки и доводится до готовности простым добавлением кипящей воды или молока и может быть использован в качестве сухого завтрака.

Литература

Авазов, К. Р. (2017). Исследование усовершенствованной технологии первичной обработки коконов тутового шелкопряда. Известия высших учебных заведений. *Технология текстильной промышленности*, 5(371), 80–83.

Егоров, Г. А., Мельников, Е. М., & Максимчук, Б. М. (1984). *Технология муки, крупы и комбикормов*. Колос.

Ермаков, А. И., Арасимович, В. В., Смирнова-Иконникова, М. И., Ярош, Н. П., & Луковникова, Г. А. (1972). Количественное определение белковых фракций (по А. И. Ермакову). В А. И. Ермаков (Ред.), *Методы биохимического исследования растений* (с. 292–298). Колос.

Ермаков, А. И., Арасимович, В. В., Смирнова-Иконникова, М. И., Ярош, Н. П., & Луковникова, Г. А. (1972). Определение клетчатки. В А. И. Ермаков (Ред.), *Методы биохимического исследования растений* (с. 168–169). Колос.

Козлов, В. Е., Пономаренко В. И., & Размахнин, Е. П. (2018). Пластичность образа жизни у группы озимых образцов пшеницы и тритикале. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 3, 310–315. <https://doi.org/10.18699/VJ18.365>

Красников, В. В., & Ильясков, С. Г. (1978). *Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов*. Пищевая промышленность.

Озолин, Н. И. (1941). Определение титруемой кислотности. В Н. П. Козьмина (Ред.), *Методы химического анализа зерна и продуктов его переработки* (с. 31–38). Заготиздат.

Попов, М. П., & Шаненко, Е. Ф. (1977). Метод определения декстринов и амилазы при одновременном присутствии их в растворе. В *Улучшители качества пищевых продуктов* (с. 29–35).

Стасюк, А. И., Леонова, И. Н., & Салина, Е. А. (2017). Проявление хозяйственно важных признаков у яровых гибридов мягкой пшеницы, отобранных с помощью mas-технологии при скрещивании озимых сортов с яровыми донорами устойчивости к бурой ржавчине. *Сельскохозяйственная биология*, 3, 526–534. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.526rus>

Степочкин, П. И., & Емцева, М. В. (2017). Изучение межфазного периода «всходы—колошение» у исходных родительских форм и гибридов тритикале с разными генами VRN. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 5, 530–533. <https://doi.org/10.18699/VJ17.22-o>

Dalla Rosa, M., Lerion, C. A., & Cencic, L. (1989). Method for the estimation of starch gelatinization in food products. *Tecnica Molitoria*, 9, 692–699.

Cheshkova, A., Stepochkin, P., Aleynikov, A., Grebennikova, I., & Chanyshev, D. (2018). A comparative study of spring triticale varieties in the western Siberian forest-steppe zone under different conditions of vegetation. *Вавиловский журнал генетики и селекции*, 3, 304–309. <https://doi.org/10.18699/VJ18.364>

Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. I. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265–275.

Producing Ready Breakfast in the Form of Flakes from Triticale Grains

Vladimir A. Gunkin

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: biobind@mail.ru*

Georgiy M. Suslyanok

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: aussitot@mail.ru*

Javaid Ahmad Wani

*Sher-e-Kashmir University of Agricultural Science & Technology
Shalimar Road, Shalimar Campus Srinagar Jammu and Kashmir, 190025, India
E-mail: wanijavaid1@gmail.com*

The relevance of production of grain products of a high degree of readiness and expansion of the raw material base through the use of triticale grain is shown. Rational modes of IR processing of triticale grain are justified when obtaining a new product from it in the form of flakes with high nutritional and consumer advantages. The influence of IR treatment on the physical and biochemical properties of triticale grain was studied. It is shown that the main parameters that determine the modes of IR processing of triticale grain are the grain moisture, the density (intensity) of the incident flow of radiant energy and the irradiation time. The influence of various IR processing modes on the proteins and carbohydrates of triticale grain was studied. The influence of the intensity of IR processing of triticale grain on the degree of starch dextrinization and on the density of grains is shown. The effect of IR treatment on the change in the amount of water-soluble substances in triticale due to the destruction of starch to dextrins and a decrease in the solubility of proteins as a result of their denaturation was studied. The effect of IR treatment on starch attack by amylases was established. The influence of IR treatment modes on the degree of denaturation and fractional composition of triticale grain proteins was studied. The influence of grain flattening on the carbohydrate complex and the intensification of IR processing on the consumer advantages of flakes is studied. The influence of IR treatment on the acidity of water and alcohol extracts and the fiber content was studied. Shown the optimal conditions of infrared treatment for gelatinization of starch and formation of dextrins. Physical and chemical changes in triticale grain during its flattening into flakes after IR treatment were studied. It is justified to obtain a new fast food product in the form of flakes that have a high nutritional value and a high content of dietary fiber, which can be used as a dry breakfast.

Keywords: IR processing, starch dextrinization, water-soluble substances, protein denaturation, amylases, protein fraction, acidity, starch gelatinization, flattening

References

- Avazov, K. R. (2017). Research of the improved technology of primary processing of silkworm cocoons. News of higher educational institutions. *Tekhnologiya tekstil'noj promyshlennosti* [Technology of the textile industry], 5 (371), 80-83.
- Egorov, G. A., Melnikov, E. M., & Maksimchuk, B. M. (1984). *Tekhnologiya muki, krupy i kombikormov*. [Technology of flour, cereals and feeds]. Moscow: Kolos.
- Ermakov, A. I., Arasimovich, V. V., Smirnova-Ikonnikova, M. I., Yarosh, N. P., & Lukovnikova, G. A. (1972). Quantitative determination of protein fractions (according to A. I. Ermakov). In A. I. Ermakov (Ed.), *Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij* [Methods of biochemical research of plants] (p. 292-298). Kolos.

How to Cite

Gunkin, V. A., Suslyanok, G. M., & Wani, J. A. (2019). Producing ready breakfast in the form of flakes from triticale grains. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s263>

- Ermakov, A. I., Arasimovich, V. V., Smirnova-Ikonnikova, M. I., Yarosh, N. P., & Lukovnikova, G. A. (1972). Determination of fiber. In A. I. Ermakov (Ed.), *Metody biohimicheskogo issledovaniya rastenij* [Methods of biochemical research of plants] (p. 168-169). Kolos.
- Kozlov, V. E., Ponomarenko V. I., & Razmakhnin, E. P. (2018). Plasticity of lifestyle in a group of winter wheat and triticale samples. *Vavilovskij Zhurnal Genetiki I Selekcii* [Vavilov journal of genetics and breeding], 3, 310-315. <https://doi.org/10.18699/VJ18.365>
- Krasnikov, V. V., & Ilyasov, S. G. (1978). Physical bases of infrared irradiation of food products. Food industry.
- Ozolin, N. I. (1941). Determination of titrated acidity. In N. P. Kozmina (Ed.), *Metody himicheskogo analiza zerna i produktov ego pererabotki* [Methods of chemical analysis of grain and products of its processing] (p.31-38). Zagotisdad.
- Popov, M. P., & Shanenko, E. F. (1977). Method for determining dextrans and amylase in their simultaneous presence in solution. In *Uluchshiteli kachestva pishchevyh produktov* [Food quality Improvers] (p. 29-35).
- Stasyuk, A. I., Leonova, I. N., & Salina, E. A. (2017). Manifestation of economically important features in spring hybrids of soft wheat selected using mas-technology when crossing winter varieties with spring donors of resistance to brown rust. *Sel'skohozyajstvennaya biologiya* [Agricultural biology], 3, 526-534. Doi: 10.15389/agrobiology.2017.3.526 rus
- Stepochkin, P. I., & Emtseva, M. V. (2017). Study of the interphase period "sprouting-earning" in the initial parent forms and triticale hybrids with different VRN genes. *Vavilovskij Zhurnal Genetiki I Selekcii* [Vavilov journal of genetics and breeding], 5, 530-533. <https://doi.org/10.18699/VJ17.22-o>
- Dalla Rosa, M., Lerion, C. A., & Cencic, L. (1989). Method for the estimation of starch gelatinization in food products. *Tecnica Molitoria*, 9, 692-699.
- Cheshkova, A., Stepochkin, P., Aleynikov, A., Grebennikova, I., & Chanyshhev, D. (2018). A comparative study of spring triticale varieties in the western Siberian forest-steppe zone under different conditions of vegetation. *Vavilovskij Zhurnal Genetiki I Selekcii* [Vavilov Journal Of Genetics And Breeding], 3, 304-309. <https://doi.org/10.18699/VJ18.364>
- Lowry, O. H., Rosebrough, N. J., Farr, A. L., & Randall, R. I. (1951). Protein measurement with the Folin phenol reagent. *Journal of Biological Chemistry*, 193, 265-275.

Использование двухдискового распределяющего и двухуровневого отражающего устройств камерного протравливателя для повышения качества обработки семян зерновых культур

Мачнев Алексей Валентинович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: mav700@mail.ru

Федоренко Борис Николаевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: borisfedorenko@gmail.com

Кухарев Олег Николаевич

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»

Адрес: 440014, город Пенза, ул. Ботаническая, дом 30

E-mail: kucharev.o.n@pgau.ru

Мачнев Валентин Андреевич

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»

Адрес: 440014, город Пенза, ул. Ботаническая, дом 30

E-mail: mva702@mail.ru

Латышев Михаил Александрович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: latyshevma@mgupp.ru

Мачнева Оксана Юрьевна

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»

Адрес: 440014, город Пенза, ул. Ботаническая, дом 30

E-mail: machneva.80@mail.ru

В последние годы все большее внимание уделяется проведению качественного протравливания семян, что невозможно осуществить без применения камерных протравливателей, работающих по принципу непрерывной подачи семян в камеру протравливания. Существующие камерные протравливатели типа Mobiox Super в конструкциях, которых предусмотрена установка одно- или двух дисковых распределяющих устройств семян пассивного и активного действия, а также одноуровневых отражающих устройств не способны существенно повысить качество протравливания. Поэтому целью научного исследования явилось повышение качества обработки семян зерновых культур разработкой двухдискового распределяющего и двухуровневого отражающего устройств камерного протравливателя. Научная значимость исследований заключается в установлении зависимостей влияния конструктивных параметров на дробление семян. Практическая значимость исследований состоит в разработке протравливателя, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами семян способного снизить дробление, влажность семян и увеличить полноту их протравливания. Двухдисковое распределяющее устройство состоит из верхнего кольцевого диска с направителем-делителем в виде катеноида и нижнего сплошного диска с направителем в виде псевдосферы, а двухуровневое отражающее устройство включает в себя отражатель верхнего и нижнего уровней, их применение дает

возможность сформировать два равномерных потока семян перед нанесением рабочей жидкости. Для проведения исследований в качестве семенного материала использовали семена яровой пшеницы сорта Радуга, а в качестве протравителя применяли препарат Максим Экстрим. Методика исследований камерного протравливателя предусматривала обоснование рациональных значений его конструктивных параметров, определение посевных качеств семян, влияния диаметра выходного окна лепесткового дозатора на подачу семян, неравномерность подачи и дробление протравливателем, а также проведение сравнительных испытаний разработанного протравливателя Mobiitox Super с базовым Mobiitox Super. Анализ и обработка результатов исследований осуществлялись методами математической статистики. Ценность полученных результатов исследований в том, что при расстоянии от кольцевого диска до отражателя верхнего уровня 60 мм, диаметре отражателя нижнего уровня 350 мм, высоте расположения отражателя верхнего уровня 30 мм и высоте расположения отражателя нижнего уровня 30 мм, наблюдалось наименьшее дробление семян протравливателем 0,05 %. Практическое значение исследований заключается в разработке протравливателя обеспечивающего, по сравнению с базовым, снижение дробления семян после протравливания с 0,12 % до 0,06 %, неравномерности протравливания с 5,6 % до 2,67 %, влажности семян после протравливания с 15,4 % до 15,1 %, и повышение полноты протравливания с 85,6 % до 97,4 %. Таким образом, применение протравливателя, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами способно повысить качество протравливания.

Ключевые слова: семя, двухдисковое распределяющее устройство, двухуровневое отражающее устройство, камера протравливания, камерный протравливатель.

В нашей стране и за рубежом возделывание зерновых культур производят либо по традиционным, либо по минимальным технологиям (Carrillo-Castañeda, Bautista-Calles, & Villegas-Monter, 2013). Традиционные технологии базируются на выполнении 20-25 технологических операций в основном механизированными способами, минимальные – 10-15 технологических операций с применением 3-4 опрыскиваний (Molina et al, 2014). Первые трудо- и энергозатратны, вторые позволяют снизить затраты труда и энергетические затраты, связанные с исключением из технологии возделывания наиболее трудоемкой операции – вспашки (Liu, X., Liu, J., Liu Q., Gao, & Wang, 2016). Независимо от применяемой технологии, перед посевом обязательно проводят протравливание семян, суть которого заключается в обработке семян от инфекций, возбудителей бактериальных и грибных заболеваний, особенно в первые 2-3 недели с даты их посева (Mulvaney Verhulst, Herrera, Mezzalama, & Govaerts, 2014). Протравливание проводится сухим, полусухим, мелкодисперсным и мокрым способами (Mazzola & Rown, 2010). Сухое протравливание заключается в нанесении на семена сухого порошка, он прост в нанесении, но удерживаемость препарата низкая (Klein et al, 2017). При полусухом протравливании семена обрабатывают рабочими жидкостями с дальнейшим выдерживанием в растворе в течение 3-4 часов и сушкой, при этом наблюдается высокая трудоемкость и низкое качество протравливания (Elhaj Baddar &

Unrine, 2018). Мелкодисперсное протравливание характеризуется нанесением рабочих жидкостей на поверхность семян посредством разбрызгивающих устройств (Hysing & Wiik, 2013). При этом способе рабочая жидкость и семена точно дозируются, возможно нанесение регуляторов роста, микро и макроудобрений (Sharma-Poudyal, Sharma, & Duveiller, 2016). Мокрое протравливание предусматривает замачивание семян в рабочих жидкостях в течение 2 часов с последующей сушкой, его недостатками являются большие затраты времени, трудоемкости и низкое качество протравливания (Fattahi, Nazeri, Zamani, Sefidkon, & Palazon 2011). То есть наиболее перспективным является мелкодисперсное протравливание семян (He, Du, Chen, Lu, & Lan, 2013).

Для протравливания семян применяют протравливатели шнекового, камерного и барабанного типа (Sadubthummarak, Parkpian, Ruchirawat, Kongchum, & Delaune, 2013). Шнековые протравливатели, у которых рабочие органы подающий шнек, камера смешивания с разбрызгивающим устройством рабочей жидкости обладают малой производительностью до 9 т/ч (Lipulus et al, 2018). В барабанных протравливателях периодического действия порция семян и рабочей жидкости подается в камеру протравливания дозировано автоматической системой и за счет медленного вращения барабана происходит обволакивание семян рабочей жидкостью (Louhaichi et al, 2019). Затем через 15-20

минут обработанная порция выносится за пределы протравливателя, а в барабан поступает новая порция семян и рабочей жидкости (производительность за час чистого времени до 7 т/ч) (Gaba, Gupta & Jindal, 2018). То есть с одной стороны повышается качество протравливания семян, с другой увеличиваются затраты времени, труда и энергии на обработку семян (Bahrani, Ramazani, Gask, Shekafandeh, & Taghvaei, 2008). Камерные протравливатели работают по принципу непрерывной подачи семян шнеком загрузки в камеру протравливания, где происходит дозирование и создание семенной цилиндрической завесы из семян с обработкой рабочей жидкостью (Yashin et al, 2018). За счет непрерывного действия производительность камерных протравливателей достигает до 20 т/ч (El-Naimi, Toubia-Rahme, & Mamluk, 2000).

Анализ литературных источников показал, что в нашей стране для протравливания семян зерновых культур преимущественно применяют камерные протравливатели типа Mobiox Super в конструкциях которых предусмотрена установка одно- или двух дисковых распределяющих устройств семян пассивного и активного действия, а также одноуровневых устройств отражающих устройств (Rjabova et al, 2013; Мачнев, 2010). Сотрудники ФГОУ ВПО «Кубанский ГАУ» предлагают конструкцию протравливателя семян, оснащенного пассивным распределяющим устройством в сочетании с одноуровневым отражающим устройством (Kukharev, Polikanov, & Semov, 2017). Однако пассивные одноуровневые распределяющие устройства эффективно себя зарекомендовали при производительности за час чистого времени до 7 т/ч, а при производительностях 7-20 т/ч, не могут сформировать равномерный поток семян перед обработкой рабочей жидкостью (Semov, Kukharev & Fedin, 2018; Мачнев, 2010). Научные работники ГСКТБ «Сельхозхиммаш» разработали протравливатель семян с кольцевым и сплошным дисками различного диаметра, не предусмотрев установку отражающего устройства (Мачнев А.В., Данилов, Мачнев В. А., Хорев, П. Н., & Хорев, А. Н., 2013; Мачнев, Каблуков, Мачнева, 2016). В результате применения установлено, что плоские диски способствуют сгуживанию семян, а отсутствие отражающего устройства приводит к обработке семян рабочей жидкостью не упорядоченного потока (Мачнева, Каблуков, Кухарев, Мачнев А. В., & Мачнев В. А., 2018). В результате наблюдается необоснованное повышение дробления и влажности семян и полноты их протравливания, то есть снижение качества протравливания семян (Мачнев, 2010). Таким образом, применение двухдисковых распределяющих и двухуровневых отражающих устройств

на камерных протравливателях может повысить качество протравливания семян (Мачнев, 2010; Мачнева и соавт., 2018). Однако, полноценные исследования по обоснованию конструктивных параметров камерного протравливателя, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствам не проводились, что говорит о своевременности постановки вопроса (Мачнев и соавт., 2016).

Цель научного исследования – повышение качества обработки семян зерновых культур разработкой двухдискового распределяющего и двухуровневого отражающего устройств камерного протравливателя (Мачнев, 2010; Мачнева и соавт., 2018). Для решения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи: разработать и изготовить протравливатель семян, оснащенный двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами, способного повысить качество протравливания; провести производственные испытания протравливателя семян, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами, обосновать его конструктивные параметры и качественные показатели работы (дробление семян до и после протравливания, влажность семян до и после протравливания, полнота протравливания) (Мачнев и соавт., 2016).

Материалы и методы

Для проведения исследований разработан и изготовлен протравливатель семян Mobitox Super, оснащенный двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами (Мачнев и соавт., 2016). Он включает в себя (рис. 1) шнек 1 подачи с трубой возврата 2, штурвал 3, блок 4 изменения режимов работы, бункер 5 накопления семян, камеру 10 протравливания, насос 11 подачи рабочей жидкости, бак 12 рабочей жидкости и ее приготовления, раму 14 с опорными колесами 13. Камера 10 протравливания имеет лепестковый дозатор 8, двухдисковое распределяющее устройство 7, двухуровневое отражающее устройство 6, распыливающее устройство рабочей жидкости. Двухдисковое распределяющее устройство 7 вращается с частотой вращения 540 мин⁻¹ и состоит из верхнего кольцевого диска с направителем-делителем в виде катеноида и нижнего сплошного диска с направителем в виде псевдосферы, при этом диаметр сплошного диска (250 мм) меньше кольцевого (350 мм), а расстояние между ними 80 мм. Применение дисков различного диаметра позволит перераспределять семена при максимальной нагрузке и

лучше формировать поток семян. Двухуровневое отражающее устройство 6, крепится тремя болтами к стенке камеры 10 протравливания состоит из отражателя верхнего уровня (установлен напротив кольцевого диска) и отражателя нижнего уровня (установлен напротив сплошного диска), при этом диаметр отражателя верхнего уровня больше отражателя нижнего уровня. Это дает возможность сформировать два равномерных потока семян (Мачнева и соавт., 2018).



Рисунок 1. Протравливатель семян Mobitox Super, оснащенный двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами: 1, 9 – шнек; 2 – труба возврата; 3 – штурвал; 4 – блок режимов работы; 5 – бункер; 6 – устройство двухуровневое отражающее; 7 – устройство двухдисковое распределяющее; 8 – дозатор лепестковый; 10 – камера протравливания; 11 – насос; 12 – бак; 13 – колесо; 14 – рама.

Разработанный протравливатель работает следующим образом. Семена посредством шнека подачи подаются в бункер, в днище которого смонтирован лепестковый дозатор, который позволяет плавно изменять поперечное сечение входного окна камеры протравливания (Мачнев А.В., Гришин, Мачнев В. А., & Каблуков, 2017). Далее семена поступают на двухдисковое распределяющее устройство, где нижний сплошной диск с направителем в виде псевдосферы создает постоянно сформированный поток семян на отражатель нижнего уровня, а верхний кольцевой диск с направителем-делителем в виде катеноида, создает второй семенной поток, направленный на отражатель верхнего уровня) только при открытии лепесткового дозатора на 110-150 мм (Мачнев, 2010; Мачнева и соавт., 2018). Таким образом, устраняется негативное влияние работы базовых протравливателей, при производительности, близкой к максимальной, так как сельхозтоваропроизводители при работе для сокращения времени протравливания, устанавливают машины на максимальную подачу, то есть максимальную производительность за час

чистого времени (Мачнев и соавт., 2016). Затем семена направляются двумя потоками на двухуровневое отражающее устройство, один на отражатель верхнего уровня, второй – нижнего уровня, где обрабатываются мелкокапельным потоком рабочей жидкости, создаваемым двухдисковым распыляющим устройством от насоса. Семена, обработанные рабочей жидкостью шнеком направляются в борт. Все это способствует повышению качества протравливания семян разработанным протравливателем, а именно снижению влажности семян после протравливания, дробления семян протравливателем, неравномерности подачи семян и повышению полноты протравливания (Мачнева и соавт., 2018).

Исследования разработанного протравливателя проводились семенами яровой пшеницы сорта Радуга, при этом в качестве протравителя использовался препарат Максим Экстрим фирмы «Syngenta» (Мачнев и соавт., 2015). Применяемый сорт яровой пшеницы рекомендован Федеральным государственным бюджетным учреждением «Государственная комиссия Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений» с периодом вегетации 82-96 дней, среднезасухоустойчив, восприимчив к пыльной головне и бурой ржавчине (Мачнев, 2010; Мачнев, 2014). Препарат Максим Экстрим выпускается в виде концентрата суспензии и является фунгицидным контактно-системным фунгицидом-протравителем семян Норма расхода препарата – 1,75 л/т, расход рабочей жидкости – 10 л/т семян зерновых культур с периодом защитного действия – от всходов до конца кущения (Мачнев и соавт., 2013). Препарат может применяться без разбавления или с разбавлением водой (Мачнев & Ларин, 2012).

Методика исследования

Для подтверждения предположений о возможности повышения качества протравливания семян предлагаемым камерным протравливателем и обоснования рациональных значений его конструктивных параметров, таких как высота расположения отражателя нижнего уровня, высота расположения отражателя верхнего уровня, диаметр отражателя нижнего уровня и расстояние от кольцевого диска до отражателя верхнего уровня, была разработана методика проведения производственных испытаний камерным протравливателем, оснащенный двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами семян (Мачнева и соавт., 2018). Исследования проходили в ООО «Русское поле» в соответствии со СТО АИСТ

10.4-2004. «Испытания сельскохозяйственной техники. Машины для подготовки семян. Методы оценки функциональных показателей»

В день проведения производственных испытаний для семян яровой пшеницы сорта Радуга определяли посевные качества семян, то есть их чистоту, влажность, лабораторную всхожесть, массу 1000 семян, дробление исходного материала и протравливателем (Мачнев, 2010; Мачнев и соавт., 2017). Дробление (%) семян протравливателем рассчитывали по следующему выражению:

$$Д = \frac{m_{др}}{m_H} 10^2 - \text{ДИМ} , \quad (1)$$

где $m_{др}$ – масса дробленых семян, выделенных из навески протравливателя, г; m_H – общая масса навески, г; – дробление семян исходного материала, %.

Затем подгоняли протравливатель семян Mobitox Super, оснащенный двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами к бурту с семенами на складе, включали его в работу для заполнения семенами бункера, камеры протравливания и шнеков (Мачнев, Каблуков, & Мачнева, 2016). Установив лепестковый дозатор на диаметр 150 мм, соответствующий максимальной подаче семян 6,01 кг/с и емкость для сбора протравленных семян под камерой протравливания включали в работу протравливатель на 30 секунд. После окончания времени выключали протравливатель, а из емкости брали пробы семян для анализа.

Обоснование конструктивных параметров протравливателя семян, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами проводили путем фиксации расстояния от кольцевого диска до отражателя верхнего уровня (0, 30, 60, 90 и 120 мм), диаметра отражателя нижнего уровня (250, 300, 350, 400, 450 мм), высоты расположения отражателя верхнего уровня (0, 15, 30, 45, 60, 75 мм) и высоты расположения отражателя нижнего уровня (0, 15, 30, 45, 60, 75 мм) путем определения дробления семян протравливателем. Для этого сначала находили расстояние от кольцевого диска до отражателя верхнего уровня и диаметра отражателя нижнего уровня, а затем высоту расположения отражателя верхнего и нижнего уровней осуществлением однократного эксперимента.

Определив рациональные значения конструктивных параметров разработанного протравливателя, устанавливали их и проводили исследования по

влиянию на подачу семян, неравномерность подачи и дробление протравливателем от диаметра выходного окна лепесткового дозатора (Мачнева и соавт., 2018). Полноту протравливания семян ППС (%) рассчитывали как:

$$\text{ППС} = \frac{m_{пр}}{m_p} \cdot 10^2 , \quad (2)$$

где $m_{пр}$ – масса протравителя семян, нанесенного на семена, кг/т; m_p – масса протравителя семян, содержащаяся в установленной норме расхода, кг/т.

Производственные испытания предусматривали сравнительные испытания камерного протравливателя Mobiitox Super, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами семян с базовым вариантом протравливателем Mobiitox Super, при этом конструктивные параметры разработанного протравливателя устанавливали на рациональные значения. Определяли дробление семян исходного материала, протравливателем, влажность семян до и после протравливания, а также полноту протравливания.

Результаты

Исследования посевных качеств исходного материала семян яровой пшеницы сорта Радуга показали, что чистота семян составила 98 %, влажность до протравливания – 14,5 %, лабораторная всхожесть – 97 %, масса 1000 семян – 42 г, дробление исходного материала – 0,15 %. Это говорит о высоком качестве исходного материала и возможности его использования при проведении производственных испытаний.

Результаты определения конструктивных параметров протравливателя семян, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами представлены на рис. 2. Их анализ показал, что при расстоянии от кольцевого диска до отражателя верхнего уровня 60 мм, диаметре отражателя нижнего уровня 350 мм, высоте расположения отражателя верхнего уровня 30 мм и высоте расположения отражателя нижнего уровня 30 мм, наблюдалось наименьшее дробление семян протравливателем, которое составило соответственно 0,11 %, 0,09 %, 0,06 %, 0,05 %.

Графические зависимости исследований по обоснованию влияния диаметра выходного окна лепесткового дозатора на подачу семян, неравномерность подачи и дробление протравливателем

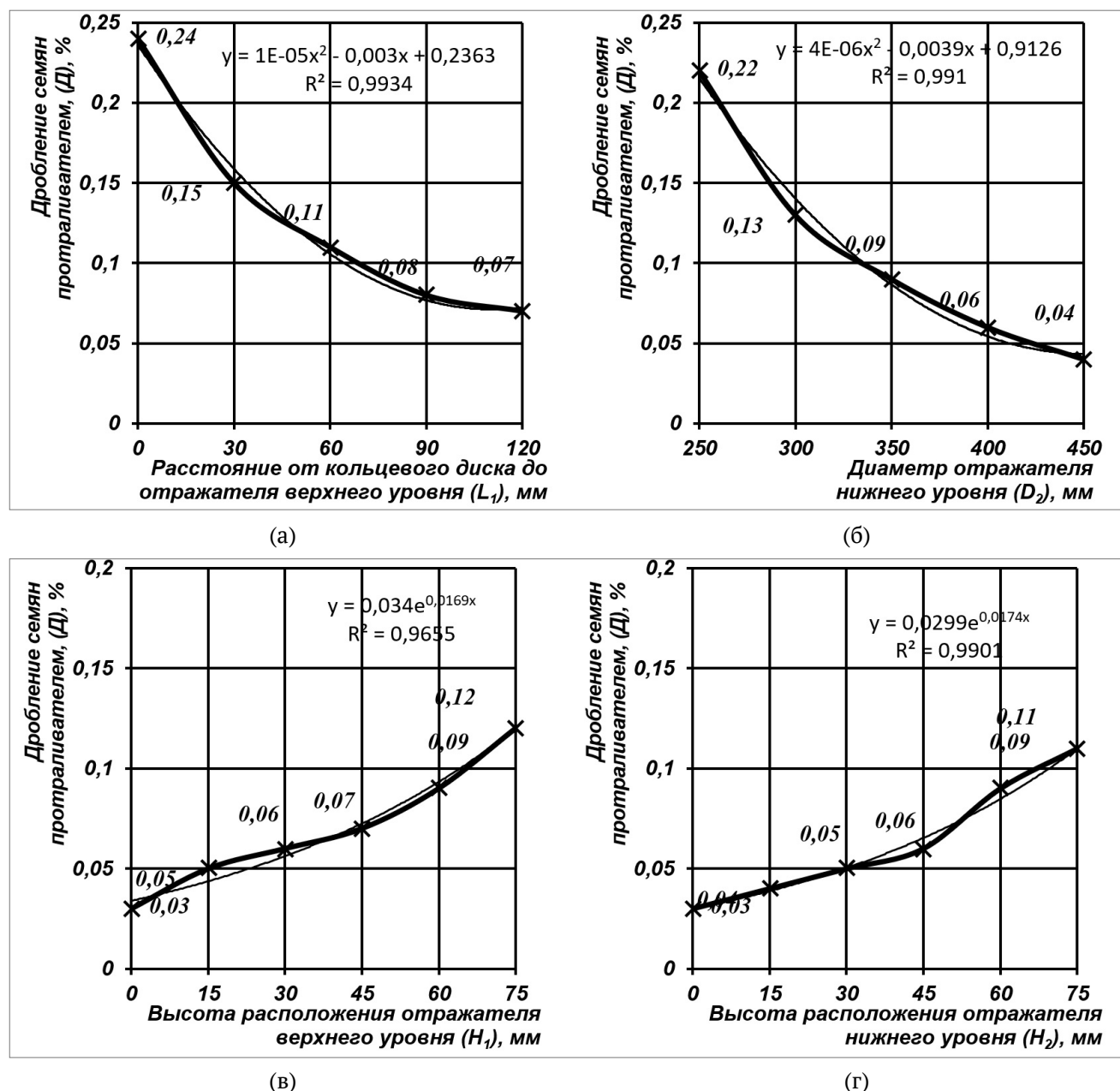


Рисунок 2. – Зависимости влияния дробления семян разработанного протравливателя от конструктивных параметров: а) расстояния (L_1); б) диаметра (D_2); в) высоты (H_1); г) высоты (H_2)

представлены на рис. 3.

Анализ графических зависимостей (рис. 3) позволил выявить, что при максимальном диаметре выходного отверстия лепесткового дозатора 150 мм подача семян составит 6,01 кг/с, неравномерность подачи – 2,67 %, а дробление семян разработанным протравливателем – 0,06 %.

Результаты сравнительных испытаний камерного протравливателя Mobiitox Super (разработанный), оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами

семян с базовым вариантом протравливателем Mobiitox Super (базовый) что при подаче семян 6,01 кг/с, чистоте семян 98,0 %, влажности семян до протравливания 14,5 % и дроблении семян исходного материала 0,15 %, наблюдалось снижение дробления семян после протравливания с 0,12 % у базового до 0,06 % у разработанного, неравномерности протравливания с 5,6 % до 2,67 %, влажности семян после протравливания с 15,4 % до 15,1 %, и повышение полноты протравливания с 85,6 % до 97,4 %. Это связано с применением двухдискового распределяющего и двухуровневого отражающего устройств.

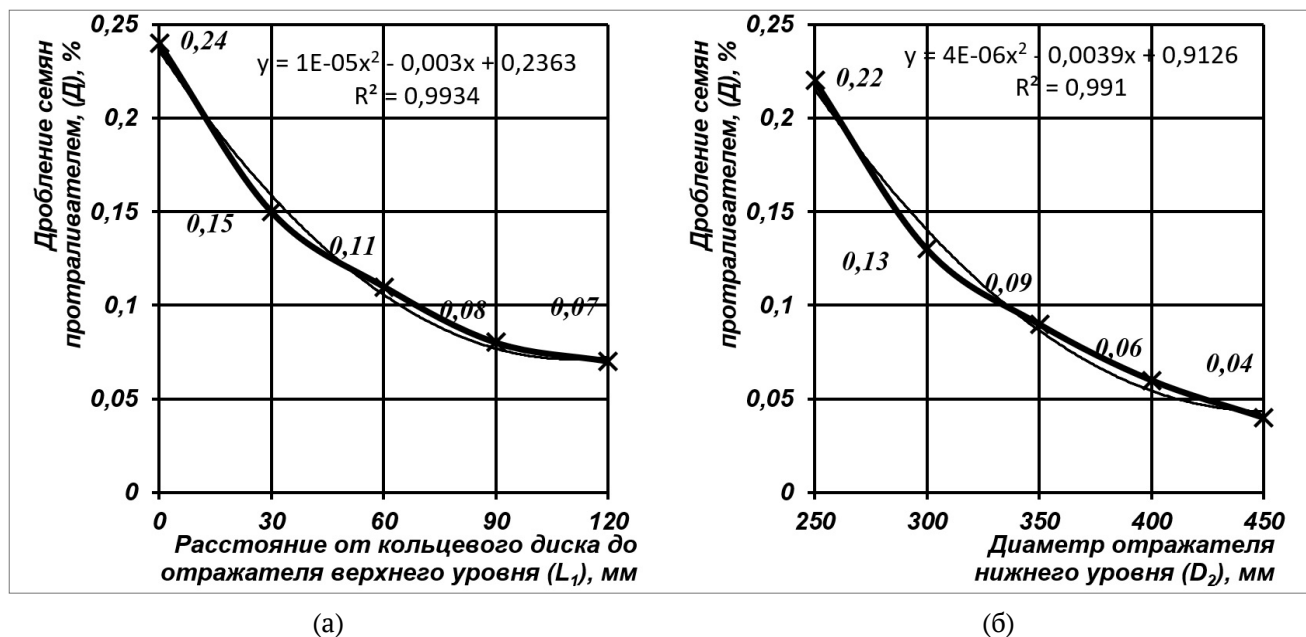


Рисунок 3. Графически зависимости исследований по обоснованию влияния диаметра выходного окна лепесткового дозатора от: а) подачи семян (q); б) дробления семян протравливателем (Д) и неравномерности их подачи (v)

Обсуждение полученных результатов

При исследованиях посевных качеств семян яровой пшеницы сорта Радуга подтверждено, что данный сорт может использоваться при проведении производственных и сравнительных испытаний протравливателя семян, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающими устройствами. Установленные показатели чистоты, влажности, лабораторной всхожести, массы 1000 семян и дробления исходного материала имеют числовые значения, которые могут способствовать повышению средней урожайности до 3,5 т/га.

Полученные результаты по определению конструктивных параметров протравливателя семян, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающими устройствами показали следующее. Выбор рационального значения расстояния от кольцевого диска до отражателя верхнего уровня 60 мм и диаметра отражателя нижнего уровня связан 350 мм, вызван тем что меньших их значения наблюдается резкое изменение дробления семян протравливателем, при большем их значении наблюдается снижение дробления семян протравливателем, что связано с недолетом семян до отражателей верхнего и нижнего уровня при сходе с верхнего кольцевого и нижнего сплошного дисков двухуровневого распределяющего устройства. Кроме того, исследования влияния расстояния от кольцевого диска до отражателя верхнего уров-

ня свыше 120 мм и диаметра отражателя нижнего уровня свыше 450 мм на дробление семян протравливателем не проводились из-за особенностей конструкции и размеров камеры протравливания. Анализ влияния дробления семян протравливателем на высоту расположения отражателя верхнего уровня и высоту расположения отражателя нижнего уровня позволили установить, что установка их ниже 30 мм способствует перескоку семян через отражатели верхнего и нижнего уровня, что приводило к снижению их дробления и снижению полноты протравливания семян.

Ценность полученных результатов исследований по обоснованию влияния диаметра выходного окна лепесткового дозатора на подачу семян, неравномерность подачи и дробление протравливателем заключалась в том, что они получены для любого режима работы протравливателя, который характеризуется открытием заслонки лепесткового дозатора на диаметр 30, 50, 70, 90, 110, 130 и 150 мм, то есть для этих числовых значений получены конкретные значения подачи семян, неравномерности подачи и дробления семян протравливателем, оснащенный двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающими устройствами. Сравнительными испытаниями установлено, что применение двухдискового распределяющего и двухуровневого отражающего устройств способствует более равномерному перераспределению потоков семян и повышения качества протравливания в целом.

Заключение

Таким образом, подтверждена эффективность применения протравливателя семян зерновых культур, оснащенного двухдисковым распределяющим и двухуровневым отражающим устройствами семян. Определены конструктивные его параметры: расстояние от кольцевого диска до отражателя верхнего уровня 60 мм, диаметр отражателя нижнего уровня 350 мм, высота расположения отражателя верхнего уровня 30 мм и высота расположения отражателя нижнего уровня 30 мм. Установлены числовые значения дробления семян исходного материала (0,15 %), протравливателем (0,06 %), влажности семян до (14,5 %) и после (15,1 %) протравливания, а также полноты протравливания 97,4 %. Таким образом, применение двухдискового распределяющего и двухуровневого отражающего устройств на камерных протравливателях эффективно. Сравнительными испытаниями установлено, что применение двухдискового распределяющего и двухуровневого отражающего устройств способствует более равномерному перераспределению потоков семян и повышению качества протравливания в целом.

Литература

- Мачнев А. В. (2010). Обеспечение наименьшей деформации семени при ударе о распределитель. *Нива Поволжья*, 2(15), 63-65.
- Мачнев А. В. (2010). Силы, действующие на лаповый сошник с параллелограммным механизмом подвески. *Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова*, 10, 60-61.
- Мачнев А. В. (2010). Условия наименьшего травмирования семян при подпочвенно-разбросном посеве. *Тракторы и сельхозмашины*, 11, 22-23.
- Мачнев А. В. (2010). Влияние поперечных смещений комбинированного сошника на качество посева. *Нива Поволжья*, 4(17), 41-44.
- Мачнев А. В. (2014). Влияние поперечных смещений комбинированного сошника на качество посева. *Нива Поволжья*, 4, 41.
- Мачнев, А. В., Гришин, Г. Е., Мачнев, В. А., & Каблуков, В. С. (2017). Обоснование применения двухдискового распределяющего устройства при протравливании семян в лабораторных условиях. *Нива Поволжья*, 2(43), 77-84.
- Мачнев, А. В., Данилов, А. М., Мачнев, В. А., Хорев, П. Н., & Хорев, А. Н. (2013). Исследования движения семени по поверхности равноходового червяка катушечного высевача. *Нива Поволжья*, 4(29), 48-53.
- Мачнев, А. В., & Ларин, М. А. (2012). Сошник с направителем-распределителем семян для посева зерновых культур. *Тракторы и сельхозмашины*, 7, 42-43.
- Мачнев, А. В., Мачнев, В. А., Хорев, П. Н., & Хорев, А. Н. (2015). Результаты полевых исследований сеялки, оснащенной высевачами аппаратами с несимметричным профилем желобков катушки. *Тракторы и сельхозмашины*, 3, 33-37.
- Мачнев, А.В., Каблуков, В.С., & Мачнева, О.Ю. (2016). Исследования взаимодействия семени с направителем двухдискового распределяющего устройства протравливателя семян. *Наука в центральной России*, 4(22), 40-51.
- Мачнева, О. Ю., Каблуков, В. С., Кухарев, О. Н., Мачнев, А. В., & Мачнев, В. А. (2018). Исследование взаимодействия семян с распределяющим и отражающим устройствами. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева*, 4(40), 111-117.
- Bahrani, M.J., Ramazani Gask, M., Shekafandeh, A., & Taghvaei, M. (2008). Seed germination of wild caper (*capparis spinosa* L., var. *Parviflora*) as affected by dormancy breaking treatments and salinity levels. *Seed Science and Technology*, 36(3), 776-780. <https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.3.27>
- Carrillo-Castañeda, G. M., Bautista-Calles, F., & Villegas-Monter, A. (2013). Postharvest seed treatments to improve the papaya seed germination and seedlings development. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(1), 133-141.
- Elhaj Baddar, Z., & Unrine, J.M. (2018). Functionalized-zno-nanoparticle seed treatments to enhance growth and zn content of wheat (*triticum aestivum*) seedlings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(46), 12166-12178. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03277>
- El-Naimi, M., Toubia-Rahme, H., & Mamluk, O. F. (2000). Organic seed-treatment as a substitute for chemical seed-treatment to control common bunt of wheat. *European Journal of Plant Pathology*, 106(5), 433-437.
- Fattahi, M., Nazeri, V., Zamani, Z., Sefidkon, F., & Palazon, J. (2011). The effect of pre-sowing treatments and light on seed germination of *dracocephalum kotschy* boiss: an endangered medicinal plant in Iran. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 52(6), 559-566.
- Gaba, R., Gupta, N., & Jindal, S. K. (2018). Effect of seed treatment on seed germination and vigour parameters in seeds subjected to salt stress in tomato (*solanum lycopersicum* L.). *Indian Journal of Ecology*, 45(4), 892-894.
- He, M.-X., Du, X.-F., Chen, L., Lü, X.-Y., & Lan, H.-Y. (2013). Effects of salt, alternating temperature

- and hormone treatments on seed germination and seedling establishment of *suaeda aralocaspica* (chenopodiaceae) dimorphic seeds. *Chinese Journal of Ecology*, 32(1), 45-51.
- Hysing, S.-C., & Wiik, L. (2013). The role of seed infection level and fungicide seed treatments in control of net blotch in barley. *European Journal of Plant Pathology*, 137(1), 169-180. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0230-7>
- Klein, J. D., Shalev, Y. R., Firmansyah, A., Panga, N., Abu-Aklin, W., Dekalo-Keren, M., Gefen, T., Kohen, R., Mazor, L., & Dudai N. (2017). Seed treatments with essential oils protect radish seedlings against drought. *AIMS Agriculture and Food*, 2(4), 345-353. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2017.4.345>
- Kukharev, O. N., Polikanov, A. V., & Semov, I. N. (2017). The technology of obtaining high-quality seeds of sugar beet. *Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences*, 8(1), 1210-1213.
- Liu, X., Liu, J., Liu Q., Gao, Y.-N., & Wang, Q.-Z. (2016). Advances in research on mechanisms of seed pre-treatments. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 27(11), 3727-3738. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201611.023>
- Louhaichi, M., Hassan, S., Ates, S., Missaoui, A. M., Petersen, S. L., Niane, A. A., Slim, S., & Belgacem, A. O. (2019). Impacts of bracteole removal and seeding rate on seedling emergence of halophyte shrubs: implications for rangeland rehabilitation in arid environments. *Rangeland Journal*, 41(1), C. 33-41.
- Lupulus, L., Columbus, C. V., Liberatore, C. M., Mattion, G., Rodolfi, M., Ganino, T., Fabbri, A., & Chiancone B. (2018). Chemical and physical pre-treatments to improve in vitro seed germination of humulus. *Scientia Horticulturae*, 235, 86-94.
- Mazzola, M., & Rown, J. (2010). Efficacy of brassicaceous seed meal formulations for the control of apple replant disease in conventional and organic production systems. *Plant Disease*, 94(7), 835-842. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-7-0835>
- Molina, O. I., Tenuta, M., El Hadrami, A., Buckley, K., Cavers, C., & Daayf, F. (2014). Potato early dying and yield responses to compost, green manures, seed meal and chemical treatments *American Journal of Potato Research*, 91(4), 414-428.
- Mulvaney, M. J., Verhulst, N., Herrera, J. M., Mezzalama, M., & Govaerts, B. (2014) Improved wheat performance with seed treatments under dry sowing on permanent raised beds. *Field Crops Research*, 164(1), 189-198. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.04.017>
- Rjabova, A. E., Kirsanov, V. V., Strizhko, M. N., Bredikhin, A. S., Semipyatnyi, V. K., Chervetsov, V. V., & Galstyan, A. G. (2013). Lactose crystallization: current issues and promising engineering solutions. *Foods and Raw Materials*, 1(1), 66-73.
- Sadubthummarak, U., Parkpian, P., Ruchirawat, M., Kongchum, M., & Delaune, R.D. (2013). Potential treatments to reduce phorbol esters levels in jatropha seed cake for improving the value added product. *Journal of Environmental Science and Health. Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 48(11), 974-982. <https://doi.org/10.1080/03601234.2013.816606>
- Semov, I. N., Kukharev, O. N., & Fedin, M. A. (2018). Raising productivity of harvesting using the combing. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1085-1088.
- Sharma-Poudyal, D., Sharma, R. C., & Duveiller, E. (2016). Control of helminthosporium leaf blight of spring wheat using seed treatments and single foliar spray in Indo-Gangetic plains of Nepal. *Crop Protection*, 88, 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.06.017>
- Yashin, A. V., Semov, I. N., Polyvyanyj, Yu. V., Machnev, A. V., Khorev, P. N., & Mishanin A. L. (2018). The results of studies of the milking machine with stepped nipple tubes. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 1446-1449.

Use of a Two-Disc Distributing and Two-Level Reflecting Devices of a Chamber Protector to Increase the Quality of Treatment of Seeds of Grain Crops

Aleksey V. Machnev

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: mav700@mail.ru*

Boris N. Fedorenko

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: borisfedorenko@gmail.com*

Oleg N. Kukharev

*Penza State Agrarian University
30 Botanicheskaya str., Penza, 440014, Russian Federation
E-mail: kucharev.o.n@pgau.ru*

Valentin A. Machnev

*Penza State Agrarian University
30 Botanicheskaya str., Penza, 440014, Russian Federation
E-mail: mva702@mail.ru*

Mikhail A. Latyshev

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: latyshevma@mgupp.ru*

Oksana Yu. Machneva

*Penza State Agrarian University
30 Botanicheskaya str., Penza, 440014, Russian Federation
E-mail: machneva.80@mail.ru*

In recent years, increasing attention has been paid to quality seed treatment, which is impossible without the use of chamber dressers, working on the principle of continuous supply of seeds to the dressing chamber. Existing chamber dressers such as Mobiox Super in designs that provide for the installation of one or two disk seed dispensers for passive and active action, as well as single-level reflective devices, are not able to significantly improve the quality of dressing. Therefore, the purpose of scientific research was to improve the quality of seed treatment of grain crops by the development of a two-disk distributing and two-level reflecting devices of a chamber etcher. The scientific significance of research is to establish the dependencies of the influence of design parameters on the crushing of seeds. The practical significance of the research lies in the development of a seed dresser equipped with a two-disk distributing and two-level reflective seed devices capable of reducing crushing, seed moisture and increasing the completeness of their seed dressing. A two-disk distribution device consists of an upper annular disk with a divider guide in the form of a catenoid and a lower solid disk with a guide in the form of a pseudosphere, and a two-level reflecting device includes a reflector of the upper and lower levels, their application makes it possible to form two uniform flow of seeds before applying the working liquids. For research, seeds of spring wheat of the Rainbow variety were used as seed material, and Maxim Extreme was used as a dressing agent. The research methodology for the chamber dresser included substantiating the rational values of its design parameters, determining the sowing quality of the seeds, the effect of the diameter of the exit

How to Cite

Machnev, A. V., Boris N., B. N., Kukharev, O. N., Machnev, V. A., Latyshev, M. A., & Machneva, O. Y. (2019). Use of a Two-Disc Distributing and Two-Level Reflecting Devices of a Chamber Protector to Increase the Quality of Treatment of Seeds of Grain Crops. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s265>

window of the petal dispenser on seed delivery, uneven feeding and crushing by the dresser, as well as comparative testing of the developed Mobiitox Super dresser with the base Mobiitox Super. Analysis and processing of research results was carried out by methods of mathematical statistics. The value of the research results is that when the distance from the annular disk to the reflector of the upper level is 60 mm, the diameter of the reflector of the lower level is 350 mm, the height of the reflector of the upper level is 30 mm, and the height of the reflector of the lower level is 30 mm, the smallest crushing of seeds was observed with the pickling agent 0, 05%. The practical significance of the research lies in the development of a seed dresser that provides, in comparison with the base, a decrease in seed crushing after dressing from 0.12% to 0.06%, uneven dressing from 5.6% to 2.67%, seed moisture after dressing from 15, 4% to 15.1%, and an increase in the etch completeness from 85.6% to 97.4%. Thus, the use of a dresser equipped with a two-disk distributing and two-level reflecting devices can improve the quality of the pickling.

Keywords: seed, two-disk dispensing device, two-level reflecting device, dressing chamber, chamber dressing

References

- Machnev, A. V. (2010). Ensuring the smallest deformation of the seed when it hits the spreader. *Niva Povolzh'ya* [Volga Region Farmland], 2(15), 63-65.
- Machnev, A. V. (2010). The forces acting on the paw opener with a parallelogram suspension mechanism. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N.I. Vavilova* [Bulletin of the Saratov State Agrarian University. N.I. Vavilova], 10, 60-61.
- Machnev, A. V. (2010). The conditions of least trauma to the seeds during subsoil-spread sowing. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 11, 22-23.
- Machnev, A.V. (2010). The influence of lateral displacements of the combined coulter on the quality of sowing. *Niva Povolzh'ya* [Volga Region Farmland], 4(17), 41-44.
- Machnev, A. V. (2014). The influence of lateral displacements of the combined coulter on the quality of sowing. *Niva Povolzh'ya* [Volga Region Farmland], 4, 41.
- Machnev, A. V., Grishin, G. E., Machnev, V. A., & Kablukov, V. S. (2017). The rationale for the use of a double-disc distribution device for seed treatment in laboratory conditions. *Niva Povolzh'ya* [Volga Region Farmland], 2(43), 77-84.
- Machnev, A. V., Danilov, A. M., Machnev, V. A., Horev, P. N., & Horev, A. N. (2013). Investigations of the movement of the seed over the surface of an equi-worm worm of a coil meter. *Niva Povolzh'ya* [Volga Region Farmland], 4(29), 48-53.
- Machnev, A. V., & Larin, M. A. (2012). Opener with seed distributor for sowing crops. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 7, 42-43.
- Machnev, A.V., Machnev, V. A., Horev, P. N., & Khorev, A. N. (2015). The results of field studies of a seeder equipped with metering devices with an asymmetric profile of coil grooves. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 3, 33-37.
- Machnev, A. V., Kablukov, V. S., Machneva, O. Yu. (2016). Investigations of the interaction of the seed with the guide of the double-disc distributor of the seed dresser. *Nauka v tsentral'noj Rossii* [Science in Central Russia], 4(22), 40-51.
- Machneva, O. Yu., Kablukov, V. S., Kukharev, O. N., Machnev, A. V., Machnev, V. A. (2018). Investigation of the interaction of seeds with distributing and reflecting devices. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva* [Bulletin of the Ryazan State Agrotechnological University named after P.A. Kostychev], 4(40), 111-117.
- Bahrani, M.J., Ramazani Gask, M., Shekafandeh, A., & Taghvaei, M. (2008). Seed germination of wild caper (*capparis spinosa* L., var. *Parviflora*) as affected by dormancy breaking treatments and salinity levels. *Seed Science and Technology*, 36(3), 776-780. <https://doi.org/10.15258/sst.2008.36.3.27>
- Carrillo-Castañeda, G. M., Bautista-Calles, F., & Villegas-Monter, A. (2013). Postharvest seed treatments to improve the papaya seed germination and seedlings development. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(1), 133-141.
- Elhaj Baddar, Z., & Unrine, J.M. (2018). Functionalized-zno-nanoparticle seed treatments to enhance growth and zn content of wheat (*triticum aestivum*) seedlings. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 66(46), 12166-12178. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b03277>
- El-Naimi, M., Toubia-Rahme, H., & Mamluk, O. F. (2000). Organic seed-treatment as a substitute for chemical seed-treatment to control common bunt of wheat. *European Journal of Plant Pathology*,

- 106(5), 433-437.
- Fattahi, M., Nazeri, V., Zamani, Z., Sefidkon, F., & Palazon, J. (2011). The effect of pre-sowing treatments and light on seed germination of *dracocephalum kotschy boiss*: an endangered medicinal plant in Iran. *Horticulture Environment and Biotechnology*, 52(6), 559-566.
- Gaba, R., Gupta, N., & Jindal, S. K. (2018). Effect of seed treatment on seed germination and vigour parameters in seeds subjected to salt stress in tomato (*solanum lycopersicum l.*). *Indian Journal of Ecology*, 45(4), 892-894.
- He, M.-X., Du, X.-F., Chen, L., Lü, X.-Y., & Lan, H.-Y. (2013). Effects of salt, alternating temperature and hormone treatments on seed germination and seedling establishment of *suaeda aralocaspica* (chenopodiaceae) dimorphic seeds. *Chinese Journal of Ecology*, 32(1), 45-51.
- Hysing, S.-C., & Wiik, L. (2013). The role of seed infection level and fungicide seed treatments in control of net blotch in barley. *European Journal of Plant Pathology*, 137(1), 169-180. <https://doi.org/10.1007/s10658-013-0230-7>
- Klein, J. D., Shalev, Y. R., Firmansyah, A., Panga, N., Abu-Aklin, W., Dekalo-Keren, M., Gefen, T., Kohen, R., Mazor, L., & Dudai N. (2017). Seed treatments with essential oils protect radish seedlings against drought. *AIMS Agriculture and Food*, 2(4), 345-353. <https://doi.org/10.3934/agrfood.2017.4.345>
- Kukharev, O. N., Polikanov, A. V., & Semov, I. N. (2017). The technology of obtaining high-quality seeds of sugar beet. *Research journal of pharmaceutical, biological and chemical sciences*, 8(1), 1210-1213.
- Liu, X., Liu, J., Liu Q., Gao, Y.-N., & Wang, Q.-Z. (2016). Advances in research on mechanisms of seed pre-treatments. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 27(11), 3727-3738. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.201611.023>
- Louhaichi, M., Hassan, S., Ates, S., Missaoui, A. M., Petersen, S. L., Niane, A. A., Slim, S., & Belgacem, A. O. (2019). Impacts of bracteole removal and seeding rate on seedling emergence of halophyte shrubs: implications for rangeland rehabilitation in arid environments. *Rangeland Journal*, 41(1), C. 33-41.
- Lupulus, L., Columbus, C. V., Liberatore, C. M., Mattion, G., Rodolfi, M., Ganino, T., Fabbri, A., & Chiancone B. (2018). Chemical and physical pre-treatments to improve in vitro seed germination of *humulus*. *Scientia Horticulturae*, 235, 86-94.
- Mazzola, M., & Rown, J. (2010). Efficacy of brassicaceous seed meal formulations for the control of apple replant disease in conventional and organic production systems. *Plant Disease*, 94(7), 835-842. <https://doi.org/10.1094/PDIS-94-7-0835>
- Molina, O. I., Tenuta, M., El Hadrami, A., Buckley, K., Cavers, C., & Daayf, F. (2014). Potato early dying and yield responses to compost, green manures, seed meal and chemical treatments *American Journal of Potato Research*, 91(4), 414-428.
- Mulvaney, M. J., Verhulst, N., Herrera, J. M., Mezzalama, M., & Govaerts, B. (2014) Improved wheat performance with seed treatments under dry sowing on permanent raised beds. *Field Crops Research*, 164(1), 189-198. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2014.04.017>
- Rjabova, A. E., Kirsanov, V. V., Strizhko, M. N., Bredikhin, A. S., Semipyatnyi, V. K., Chervetsov, V. V., & Galstyan, A. G. (2013). Lactose crystallization: current issues and promising engineering solutions. *Foods and Raw Materials*, 1(1), 66-73.
- Sadubthummarak, U., Parkpian, P., Ruchirawat, M., Kongchum, M., & Delaune, R.D. (2013). Potential treatments to reduce phorbol esters levels in *jatropha* seed cake for improving the value added product. *Journal of Environmental Science and Health. Part B: Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, 48(11), 974-982. <https://doi.org/10.1080/03601234.2013.816606>
- Semov, I. N., Kukharev, O. N., & Fedin, M. A. (2018). Raising productivity of harvesting using the combing. *Research Journal of Pharmaceutical Biological and Chemical Sciences*, 9(3), 1085-1088.
- Sharma-Poudyal, D., Sharma, R. C., & Duveiller, E. (2016). Control of *helminthosporium* leaf blight of spring wheat using seed treatments and single foliar spray in Indo-Gangetic plains of Nepal. *Crop Protection*, 88, 161-166. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.06.017>
- Yashin, A. V., Semov, I. N., Polyvyanyj, Yu. V., Machnev, A. V., Khorev, P. N., & Mishanin A. L. (2018). The results of studies of the milking machine with stepped nipple tubes. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 9(6), 1446-1449.

Обоснование энергетической эффективности технологии термохимической подготовки свекловичной стружки к экстрагированию сахарозы с помощью эксергетических методов анализа

Рубан Наталья Викторовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: nataligato@mail.ru

Кульнева Надежда Григорьевна

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Адрес: 394036, город Воронеж, пр-т Революции, дом 19

E-mail: ngkulneva@yandex.ru

Журавлев Михаил Валентинович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: zyrav2014@yandex.ru

Статистические исследования последних пяти лет свидетельствуют об устойчивом росте потребления высокоуглеводных продуктов питания, важное место среди которых занимает белый сахар. Данный продукт составляет значительную часть рациона питания современного человека, ввиду своих высоких вкусовых качеств и возможности быстрого насыщения организма энергией.

Сахарное производство является важной частью пищевого промышленного аграрного комплекса России, продукция которого пользуется высоким потребительским спросом, как среди населения страны, так и среди различных отраслей пищевой промышленности. Значительные объемы перерабатываемой сахарной свеклы, множественное количество технологических операций и энергетическая емкость данного пищевого производства требуют своевременного внедрения прогрессивных технологий, позволяющих сохранить энергетическую и ресурсную эффективность, в условиях роста цен на энергоносители.

В технологическом потоке свеклосахарного производства, значительное количество тепловой и электрической энергии сосредоточено на участке экстрагирования сахарозы из свеклы, необходимой для поддержания оптимальных параметров диффузионного процесса. Значительное количество действующих предприятий сахарной отрасли России осуществляет экстрагирование сахарозы с помощью традиционных технологических решений в аппаратах наклонного типа. Традиционные технологические приемы не позволяют обеспечить нормативную величину ее извлечения и нуждаются в технологическом совершенствовании.

Разработано технологическое решение по совершенствованию традиционной технологии диффузионного извлечения сахарозы из свеклы с помощью термохимической обработки свекловичной стружки перед ее поступлением в диффузионный аппарат осуществлен эксергетический анализ предлагаемой разработки. Расчетным путем подтверждены результаты экспериментальных исследований по эффективности применения термохимической обработки свекловичной стружки показана целесообразность использования эксергетического расчета для оценки термодинамического состояния тепло-технологических процессов свеклосахарного производства.

Ключевые слова: сахарное производство, энергосберегающие технологии, степень термодинамического совершенства, ошпаривание стружки, эксергетический коэффициент полезного действия

Как цитировать

Рубан, Н. В., Кульнева, Н. Г., & Журавлев, М. В. (2019). Обоснование энергетической эффективности технологии термохимической подготовки свекловичной стружки к экстрагированию сахарозы с помощью эксергетических методов анализа. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s264>

Введение

Современное развитие пищевой индустрии в условиях глобальной интеграции, освоения и внедрения новых технологий, динамично развивающегося рынка продуктов питания сопряжено с решением различных задач, одной из которых является производство качественных и безопасных продуктов питания, отвечающее требованиям рационального использования топливно-энергетических ресурсов и вспомогательных материалов.

Одной из главнейших задач «Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013-2020 гг.», является полное удовлетворение потребностей граждан России, в том числе за счет создания рационов питания, основанных на высококачественных и безопасных продуктах питания, таких как сахар и сахаристые кондитерские изделия. Данные продукты составляют значительную часть рациона питания различных возрастных групп населения, в особенности молодежи и детей (Мойсеяк, М.Б., 2017; Кульнева, Губин & Бираро, 2018; Фролова, 2018). Благодаря действиям данной программы в 2019 году была достигнута величина выработанного белого сахара – 6,58 млн. тонн. Такое количество выработанного белого сахара полностью покрывает потребности населения России, а также позволяет обеспечить продовольственную безопасность страны и создает необходимые условия для успешной экспортной реализации данной продукции (Кульнева & Журавлёв, 2019; Штерман, 2015).

Значительные объемы сахарной свеклы, перерабатываемые сахарной промышленностью, свидетельствуют о том, что данной сектор является масштабным кластером пищевой промышленности. Это обусловлено высоким потребительским спросом на сахар, как у рядовых потребителей, так и у различных отраслей: кондитерская, биохимическая, фармацевтическая и другие, в которых белый сахар играет важнейшую роль и является незаменимым элементом производства (Mojarab Soufiyan et al, 2016; Ust, Sahin, & Cakir, 2016)

Литературный обзор

По своей энергетической емкости, сложности теплоэнергетического комплекса и по неразрывности коммуникаций между технологическими, массообменными теплоэнергетическими процессами, производство белого сахара значительно удерживает одну из лидирующих позиций среди

отраслей пищевой индустрии, а по своей значимости является релевантным по отношению к таким отраслям, как химическая, металлургическая, нефтеперерабатывающая. Для пищевых производств соответствующего уровня важнейшим критериями оценки результативности их деятельности являются показатели энергоэффективности и ресурсосбережения (Филоненко, 2018; Верхола, 2018; Кухар, Саповский, Табурчак, & Глушко, 2015). На предприятиях свеклосахарной промышленности данными показателями являются расход условного топлива (природного газа) и расход реагентов (известковый камень), необходимых для осуществления технологических процессов (Колесников, 2009; Lehnberger, 2015).

Статистические данные Союза сахаропроизводителей России свидетельствуют о том, что в производственном сезоне 2018-2019 гг. на отечественных предприятиях средний расход условного топлива составил 3,89 % к массе перерабатываемой свеклы, а расход известнякового камня – 3,81 % к массе перерабатываемой свеклы. В тоже время на предприятиях ЕС данные показатели составили 2,6 % и 2,3 % к массе перерабатываемой свеклы соответственно. Столь высокие показатели расхода условного топлива и известкового камня в сравнении с предприятиями Европейских компаний свидетельствуют о необходимости совершенствования традиционных технологических подходов, используемых на большинстве отечественных предприятий свеклосахарного производства за счет внедрения современных энергоэффективных ресурсосберегающих технологий (Валовой, Тужилкин, & Петров, 2016; Игнатъев, 2018).

Теоретическое обоснование

В технологическом потоке свеклосахарного производства одним из наиболее важных и энергоемких участков является В совокупности данные станция экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки. На данном технологическом этапе сосредоточено значительное количество тепловой энергии, которая необходима для обогрева диффузионных аппаратов с целью поддержания эффективных показателей их работы и необходимых условий для диффузионного извлечения сахарозы (Кульнева, Журавлев, & Беляева, 2015).

Значительное количество отечественных свеклосахарных предприятий оснащено диффузионными аппаратами наклонного типа. Диффундирование сахарозы в аппаратах данной конструкции сопровождается рядом проблем: ввиду наклона

корпуса аппарата к плоскости горизонта 11°, обогрев сокоотрующей смеси по длине аппарата осуществляется неравномерно, что увеличивает расход греющего пара для достижения регламентного значения температуры диффузионного процесса и продолжительность процесса экстрагирования, неизбежно приводит к повышению потерь сахарозы в обессахаренной свекловичной стружке. Также весьма значительным показателем является величина отбора диффузионного сока, которая для диффузионных аппаратов этого типа составляет 120-125 % к массе перерабатываемой свеклы. При этом большинство сахаропроизводящих предприятий Европы работают с отбором диффузионного сока 95-100 % к массе перерабатываемой свеклы. В совокупности данные ненормальности свидетельствуют о низкой степени термодинамического совершенства станции экстрагирования сахарозы из свеклы, которое осложняется постоянным удорожанием энергоносителей (Кульнева, 2016, с. 2).

Поиск возможностей энергетического совершенствования существующих технологических решений во многом определяется необходимостью оценки рационального использования энергетических ресурсов. В этой связи перспективным методом оценки степени энергосбережения, выражаемой эффективностью термодинамического состояния теплотехнологических систем, к которым относится диффузионный процесс, является эксергетический анализ, позволяющий выявить «узкие участки» рассматриваемой технологии, которые имеют потенциал сбережения энергоресурсов (Василенко, 2018; Marmolejo-Correa, 2011; Haryati, Maharanti, Hamzah, & Bustan, 2016; Ye, Yang, & Liu, 2018).

Задачей данной работы является совершенствование процесса диффузионного извлечения сахарозы из свеклы, достигаемое за счет разработки и внедрения энергоэффективной ресурсосберегающей технологии термохимической обработки свекловичной стружки перед ее поступлением в диффузионный аппарат в ошпаривателе прогрессивной конструкции, и обоснование энергетической эффективности данной технологии с помощью эксергетического анализа.

Материалы и методы

Научные исследования проводились в лабораторных условиях на кафедре бродильных и сахаристых производств ФГБОУ ВО «ВГУИТ» и ФГБОУ ВО «МГУПП» на кафедре кондитерских, сахаристых, субтропических и пищевкусных производств с

использованием известных методов оценки качественных показателей полупродуктов сахарного производства, а также с применением методов оценки термодинамического совершенствования тепловых и технологических схем пищевых предприятий (Цирлин, Ахременков, & Григорьевский, 2008).

Анализ эксергетической эффективности был применен к способу получения диффузионного сока, который предусматривает обработку свекловичной стружки в вертикальном двухсекционном ошпаривателе (Кульнева & Журавлев, 2016), в котором она последовательно обрабатывается греющим паром температурой 80 °С в течение 30 с, а затем 0,05 % электроактивированным раствором сульфата аммония ((NH₄)₂SO₄) температурой 75 °С. Количество раствора для обработки составляет 15 % к массе стружки (Кульнева и соавт., 2015; Кульнева, 2016).

Способ получения диффузионного сока с применением термохимической обработки свекловичной стружки сопровождается затратами тепловой и электрической энергии на приготовление раствора сульфата аммония, его электрохимическую активацию и непосредственно на обработку стружки в ошпаривателе. На основании этого необходимо обоснование целесообразности применения данной технологии с помощью расчета ее эксергетической эффективности.

Методика исследования

Эксергетический анализ представляет собой совокупность методик, основанных на определении энергии или эксергетических потоков в анализируемой тепловой системе и построении баланса эксергии, связывающего все объекты системы, взаимодействующие с этими потоками. Понятия «эксергия» и «энергия» являются различными: первое определяется фундаментальными свойствами материи, второе характеризует пригодность энергии в конкретных условиях внешней среды, характеристики которой не зависят от воздействия тепло-технологической системы (Gjennestad, Aursand, Magnanelli, & Pharoah, 2018; Sheikholeslami, Jafar-yar, Ganji, & Li, 2018; Yan, Lu, Hou, Nan, & Luo, 2019; Cao & Chung, 2019).

Главными задачами эксергетического анализа являются: расчёт степени термодинамического совершенства системы на основе второго закона термодинамики и выявление этапов процесса, на которых имеются наибольшие потери эксергии.

Согласно методологическим условиям (Радченко & Тюльпа 2017; Шевцов & Дранников, 2011), тепло-технологическая система термохимической обработки свекловичной стружки и экстрагирования сахарозы условно отделена от окружающей среды замкнутой контрольной поверхностью, внутри которой с учетом теплообменных процессов отображены контрольные поверхности:

- I. Получение раствора реагента $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$;
- II. Электрохимическая активация раствора реагента $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$;
- III. Термохимическая обработка свекловичной стружки в ошпаривателе;
- IV. Первая зона диффузионного аппарата;
- V. Вторая зона диффузионного аппарата;
- VI. Третья зона диффузионного аппарата;
- VII. Четвёртая зона диффузионного аппарата

Схематическое отображение обмена рассматриваемой тепло-технологической

системы термохимической обработки свекловичной стружки перед экстрагированием сахарозы тепловыми, материальными и энергетическими потоками с внешней средой и внутри системы между контрольными поверхностями представлено на рисунке 2.

Эксергия контрольных поверхностей рассматриваемой системы экстрагирования сахарозы, состоящей из классических необратимых процессов, уменьшается с течением времени. Это обусловлено явлением диссипации тепловой энергии:

$$\Sigma E_3 = \Sigma E_9 + \Sigma D, \quad (1)$$

где ΣE_3 – суммарная эксергия подводимых к контрольной поверхности материальных и энергетических потоков; ΣE_9 – суммарная эксергия отводимых от контрольной поверхности полезных материальных и энергетических потоков; $\Sigma D = T_0 \cdot \Delta S$ – сумма эксергетических потерь (уравнение Гюи-Стодолы).

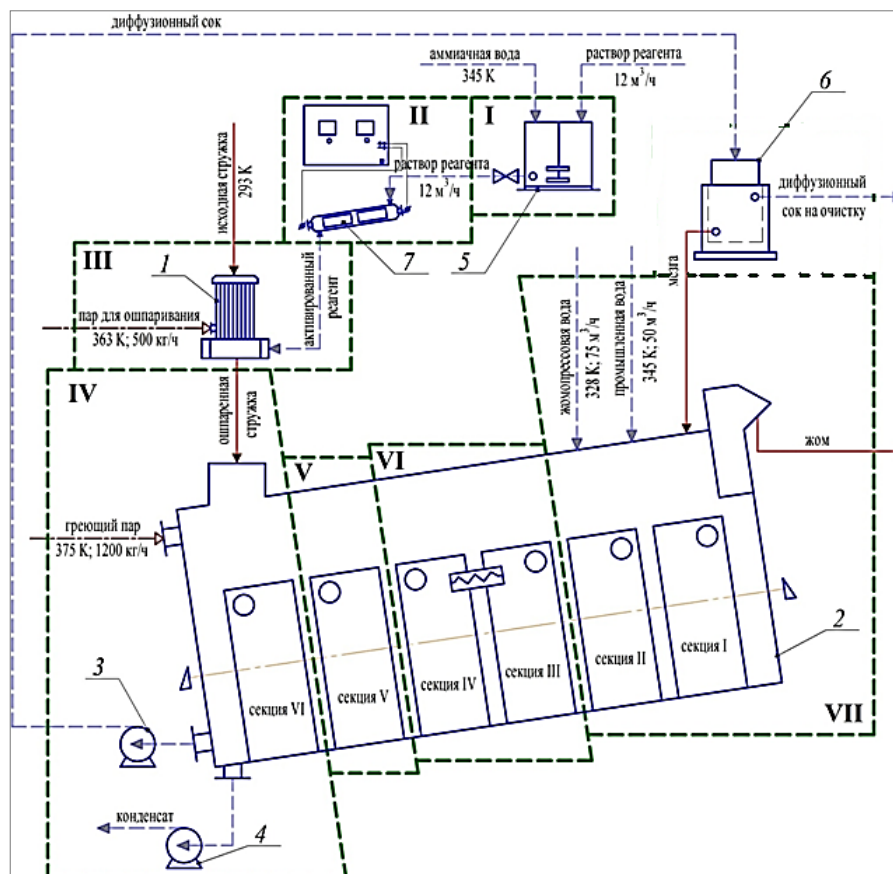


Рисунок 1. Схема технологического процесса: $\longrightarrow$ – полупродукты; $\dashrightarrow$ – жидкости различных категорий; $\dashrightarrow$ – пар; $\dashrightarrow$ – границы контрольных поверхностей. 1 – ошпариватель свекловичной стружки; 2 – наклонный диффузионный аппарат; 3 – насос отбора диффузионного сока; 4 – насос отбора конденсата; 5 – сборник-дозатор приготовления раствора реагента; 6 – мезголоушка; 7 – установка для электрохимической активации раствора реагента

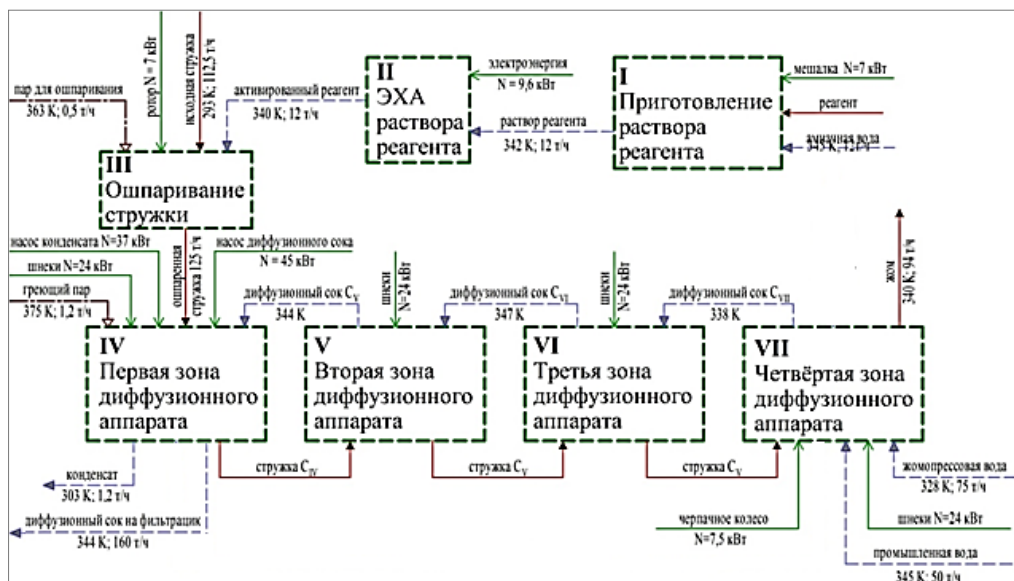


Рисунок 2. Схема обмена потоками между контрольными поверхностями предлагаемой теплотехнологической системы: – полупродукты; – жидкости различных категорий; – пар; – электроэнергия; – границы контрольных поверхностей, I-VII – номера контрольных поверхностей

Соотношение (1) для рассматриваемой технологии экстрагирования сахарозы из свёклы рассматривалось в следующем виде:

$$E_I^{PI} + E_I^{B1} + E_{II}^{B1} + E_{II}^{B2} + E_{IV}^{B1} + E_{VII}^{B1} + E_{VII}^{B2} + \Sigma E_i^{\Sigma} = E_{VII}^{PI} + E_{VII}^{P2} + \Sigma D_i + \Sigma D_e \quad (2)$$

где слагаемые этих уравнений – эксергия (кДж): исходной стружки E_I^{PI} ; пара для ошпаривания E_I^{B1} ; аммиачной воды E_{II}^{B1} ; реагента (сульфата аммония) E_{II}^{B2} ; суммарной подводимой электроэнергии ΣE_i^{Σ} ; диффузионного сока, направляемого на очистку E_{VII}^{PI} ; жома E_{VII}^{P2} ; суммарные эксергетические потери в результате необратимости процессов, происходящих внутри контрольной поверхности ΣD_i ; суммарные эксергетические во внешнюю среду ΣD_e .

Эксергии вводимых в систему внешних потоков – исходной стружки и реагента – находятся в термодинамическом равновесии с окружающей средой, поэтому равны нулю, исходя из определения эксергии.

Принимаем, что в процессе обработки сырья и промежуточных продуктов, а также вспомогательных потоков их состав не претерпевает изменений, их химическая эксергия постоянна. Поэтому учитывается только удельная термическая эксергия, определяемая в соответствии с уравнением Гюи-Стодоль:

$$e_{э.к.} = e - e_0 = h - h_0 - T_0 (S - S_0) \quad (3)$$

где, e , e_0 – удельная термическая эксергия, кДж/кг;

h , h_0 – удельная энтальпия, кДж/кг; S , S_0 – энтропия, кДж/(кг·К) потока при данных параметрах процесса и в состоянии равновесия с окружающей средой.

Уравнение (3) отражает изменение эксергии тепло-технологической системы экстрагирования сахарозы из свёклы за счет ввода исходного сырья – свекловичной стружки, вспомогательных потоков (аммиачная, питательная и жомопрессованная вода, раствор сульфата аммония, пар для ошпаривания и греющий пар); подвода электроэнергии к приводам технологического оборудования; необратимых изменений структурно-механических свойств продукта, сопряженных с затратами электроэнергии на приводы технологического оборудования; приращения эксергии продукта от механического воздействия роторов ошпаривателя и диффузионного аппарата, приращения эксергии вспомогательных потоков от приводов насосов; покрытия потерь от необратимости теплообменных процессов; гидравлических потерь потоков пара;

В суммарное количество внутренних эксергетических потерь входят потери от конечной разности температур в результате теплообмена между продуктами, продуктами и вспомогательными потоками (пар, вода), электромеханические, возникающие при необратимом изменении структурно-механических свойств продукта, и гидравлические потери, обусловленные увеличением удельного объема пара при его поступлении в технологическое оборудование из подводящих паропроводов.

Потери, обусловленные конечной разностью температур между потоками, определяли по формуле:

$$D^{mo} = Q^{mo} \cdot \tau_e, \quad (4)$$

где Q^{mo} - количество теплоты, переданное от одного потока к другому, кДж; τ_e - среднее значение фактора Карно для двух взаимодействующих потоков.

Фактор Карно или эксергетическая температурная функция равна термическому КПД цикла Карно между температурами контрольной поверхности и условно принятой окружающей среды:

$$\tau_e = (T_{кп} - T_0) / T_{кп}, \quad (5)$$

где $T_{кп}$ - температура теплоносителя внутри контрольной поверхности, К.

Эксергетические потери вследствие падения давления пара при его подаче в контрольную поверхность определяли по формуле:

$$D^2 = g \cdot \Delta H_z \cdot \frac{T_{кп}}{T_{вх}}, \quad (6)$$

где $T_{вх}$ - температура, К, продукта на входе в контрольную поверхность; ΔH_z - гидравлические потери, м.

По формуле Дарси-Вейсбаха найдены гидравлические потери при входе пара в контрольную поверхность:

$$\Delta H_z = \xi \cdot \frac{v_{вх}^2}{2g}, \quad (7)$$

где $v_{вх}$ - средняя скорость прохождения пара по сечению подводящего трубопровода, м/с; ξ - коэффициент сопротивления, определяемый отношением внутреннего объема оборудования, рассматриваемого в качестве контрольной поверхности, к поперечному сечению входного отверстия.

Электромеханические потери эксергии тождественны мощности приводов технологического оборудования, используемого в процессе обработки сырья и промежуточных продуктов.

Внешние потери D^e связаны с условиями сопряжения системы с окружающей средой. Они обусловлены различием температур теплоносителя и окружающей среды, несовершенством теплоизоляции оборудования.

Потери эксергии в окружающую среду, обусловленные несовершенством теплоизоляции, были

найжены по формуле:

$$D^e = Q_{из} \cdot \tau_e, \quad (8)$$

где $Q_{из}$ - суммарные потери тепла в окружающую среду через контрольную поверхность, кДж; τ_e - фактор Карно.

Эксергетические потери полупродуктов процесса (свековичный жом и диффузионный сок) при их выгрузке из секций I и VI диффузионного аппарата и достижении термодинамического равновесия с окружающей средой были вычислены по следующей формуле:

$$D_{np} = h_{np} - h_{np}^0 - T_0 \cdot \bar{c} \cdot \ln \frac{T_{np}}{T_{np}^0}, \quad (9)$$

где h_{np} , T_{np} - энтальпия, кДж/кг и температура, К готовых продуктов, $\bar{c}$ - средняя удельная теплоемкость продуктов между их текущим состоянием в момент выгрузки и в состоянии термодинамического равновесия с окружающей средой, кДж/(кг·К).

Оценку термодинамического совершенства тепло-технологической системы экстрагирования сахарозы из свёклы с предварительной термохимической обработкой стружки проводили в соответствии со значениями эксергии готовой продукции, вычисляя КПД системы по формуле:

$$\eta_{экс} = \frac{\sum_{k=1}^l e_i^3}{\sum_{i=1}^n e_i^3} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^3 - \sum_{j=1}^m D_j}{\sum_{i=1}^n e_i^3}, \quad (10)$$

где $\sum_{k=1}^l e_i^3$ - суммарная удельная эксергия полупродуктов,

кДж/кг; $\sum_{i=1}^n e_i^3$ - суммарная затраченная удельная

эксергия, подведенная в систему извне, кДж/кг;

$\sum_{j=1}^m D_j$ - суммарные эксергетические потери, кДж/кг.

Результаты

В результате эксергетического анализа технологии термохимической обработки свековичной стружки электроактивированным раствором сульфата аммония перед ее подачей в диффузионный аппарат в ходе окончательных вычислений по формуле (10), получено значение эксергетического КПД, которое составило 39,67 % и представлено в таблице 2.

Значение рассчитанного эксергетического КПД свидетельствует о том, что применение термохимической обработки свекловичной стружки перед ее поступлением в диффузионный аппарат, позволяет повысить степень термодинамического совершенства станции диффузионного извлечения сахарозы, за счет снижения энергетических потерь, о чем также свидетельствуют данные диаграммы распределения эксергетических потоков Грассмана-Шаргута (диаграмма 1), построенной по результатам эксергетического анализа. В качестве абсолютного эксергетического критерия выбрана эксергетическая мощность E , кДж/ч, учитывающая как энергетическую составляющую в виде удельной эксергии, так и материальную в виде расхода вещества в потоке.

Качественные показатели полупродуктов (таблица 3), полученных с применением технологии термохимической обработки стружки перед экстрагированием сахарозы, существенно выше показателей соков, полученных по традиционной технологии. Данный факт свидетельствует о технологической эффективности предлагаемого способа получения диффузионного сока.

Обсуждение полученных результатов

Эксергетический анализ технологии термохимической обработки свекловичной стружки греющим паром и водноэлектроактивированным раствором сульфата аммония в двухсекционном вертикально

ошпаривателе, свидетельствует о том, со применение данного технико-технологического приема, позволяет повысить степень термодинамического совершенства станции диффузионного извлечения сахарозы из свеклы, за счет оптимизации распределения тепловых потоков на данном технологическом участке.

Полученное значение эксергетического КПД составляет 39,67 %, что на 11,67 %, чем при использовании традиционной технологии экстрагирования сахарозы, не предусматривающей тепло-химическую подготовку стружки к диффузионному процессу.

Технологическую эффективность применяемой технологии термохимической обработки свекловичной стружки в вертикальном двухсекционном ошпаривателе, предусматривающую её последовательную обработку греющим паром температурой 80 °С в течение 30 с, а затем 0,05 % электроактивированным раствором сульфата аммония $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$ температурой 75 °С, показывают качественные показатели диффузионного и очищенного сока – важнейших производственных полупродуктов сахарного производства. Тепловое воздействие на стружку греющим паром приводит к денатурации белковых структур поверхностного слоя свекловичной ткани, повышая степень ее проницаемости. В образующиеся поры вместе с паром проникает активированный раствор сульфата аммония $((\text{NH}_4)_2\text{SO}_4)$, химические компонен-

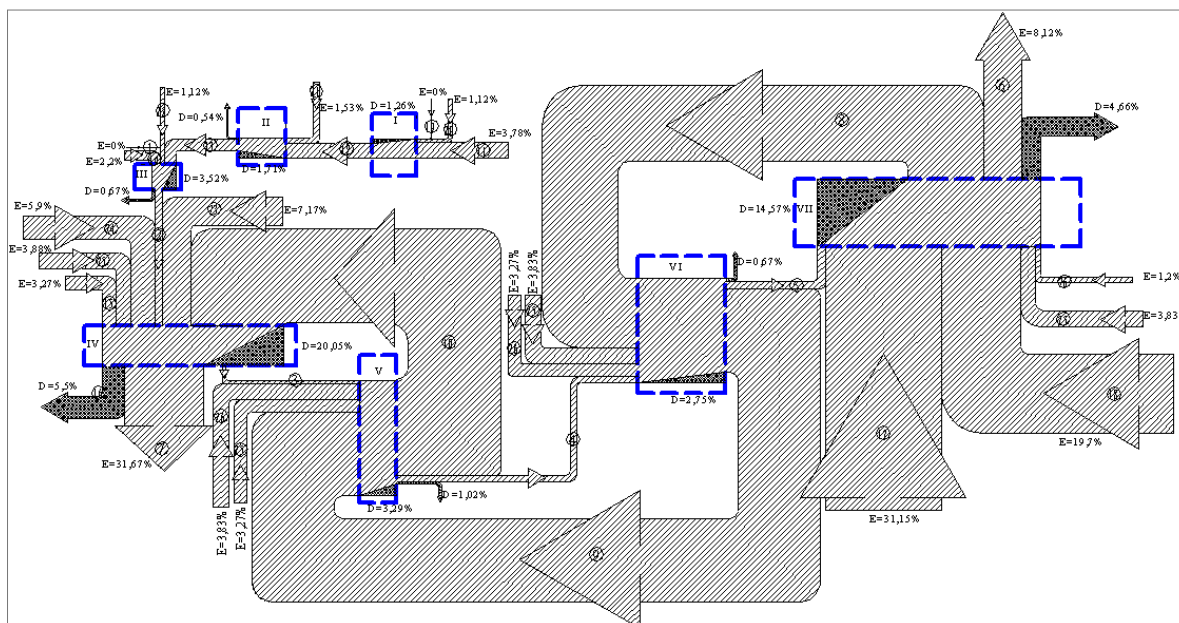


Диаграмма 1. Диаграмма потоков эксергии (Грассмана-Шаргута) рассматриваемой технологии термохимической обработки свекловичной стружки

Таблица 1

Анализ потоков для диаграммы Грассмана-Шаргута станции извлечения сахарозы из свекловичной стружки

Позиция на диаграмме	Полупродукт или материал	Контрольная поверхность	
		отдающая	принимающая
1	Исходная стружка	–	III
2	Ошпаренная стружка	III	IV
3	Стружка С IV	IV	V
4	Стружка С V	V	VI
5	Стружка С VI	VI	VII
6	Жом	VII	–
7	Диффузионный сок на фильтрацию	IV	VII
8	Диффузионный сок CVII	VII	VI
9	Диффузионный сок CVI	VI	V
10	Диффузионный сок CV	V	IV
11	Диффузионный сок на очистку	IV	–
12	Аммиачная вода	–	I
13	Раствор реагента	I	II
14	Активированный реагент	II	III
15	Пар для ошпаривания	–	III
16	Греющий пар	–	IV
17	Конденсат	IV	–
18	Промышленная (барометрическая) вода	–	VII
19	Жомпрессовая вода	–	VII
20	Реагент (сульфат аммония)	–	I
21	Электроэнергия для привода мешалки	–	I
22	Электроэнергия для ЭХА реагента	–	II
23	Электроэнергия для привода ротора ошпаривателя	–	III
24	Электроэнергия для привода насоса диффузионного сока	–	IV
25	Электроэнергия для привода насоса конденсата	–	IV
26	Электроэнергия для привода шнека диффузионного аппарата	–	IV-VII
27	Электроэнергия для привода черпачного колеса	–	VII

Таблица 2

Баланс эксергии технологического участка диффузионного извлечения сахарозы свекловичной стружки

№ п/п	Наименование контрольной поверхности	Абсолютная эксергетическая мощность E, МДж/ч	Относительная эксергетическая мощность, %
1	2	3	4
I Растворение реагента			
Приход			
1	Аммиачная вода	85,43	3,76
2	Реагент (сульфат аммония)	0,00	0,00
3	Электроэнергия для привода мешалки	25,21	1,13
Суммарная эксергия		110,66	4,93
Расход			
4	Внутренние эксергетические потери	28,39	1,29
Суммарная эксергия		28,38	1,28

ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СВЕКЛОВИЧНОЙ СТРУЖКИ

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
II Электрохимическая активация раствора реагента			
Приход			
1	Электроэнергия для ЭХА реагента	34,55	1,52
Суммарная эксергия		34,54	1,52
Расход			
3	Внутренние эксергетические потери	38,59	1,77
4	Внешние эксергетические потери	12,22	0,55
Суммарная эксергия		50,76	2,23
III Ошпаривание свекловичной стружки			
Приход			
1	Исходная стружка	0,00	0,00
2	Пар для ошпаривания	49,64	2,21
3	Электроэнергия для привода ротора ошпаривателя	25,20	1,13
Суммарная эксергия		74,80	3,36
Расход			
5	Внутренние эксергетические потери	79,51	3,49
6	Внешние эксергетические потери	15,22	0,66
Суммарная эксергия		94,78	4,24
IV Первая зона диффузионного аппарата			
Приход			
1	Греющий пар	73,98	3,29
2	Электроэнергия для привода насоса диффузионного сока	162,00	7,22
3	Электроэнергия для привода насоса конденсата	133,24	5,96
4	Электроэнергия для привода шнека диффузионного аппарата	86,41	3,88
Суммарная эксергия		455,54	20,16
Расход			
6	Внутренние эксергетические потери	452,69	20,03
7	Внешние эксергетические потери (включая конденсат)	124,28	5,57
8	Диффузионный сок	715,23	31,69
Суммарная эксергия		1292,08	57,22
V Вторая зона диффузионного аппарата			
Приход			
1	Электроэнергия для привода шнека диффузионного аппарата	86,44	3,88
2	Греющий пар	73,99	3,28
Суммарная эксергия		160,36	7,17
Расход			
3	Внутренние эксергетические потери	74,26	3,29
4	Внешние эксергетические потери	23,03	1,05
Суммарная эксергия		97,23	4,32
VI Третья зона диффузионного аппарата			
Приход			
1	Электроэнергия для привода шнека диффузионного аппарата	86,46	3,88
2	Греющий пар	73,99	3,28
Суммарная эксергия		160,31	7,11
Расход			
3	Внутренние эксергетические потери	62,10	2,73
4	Внешние эксергетические потери	15,20	0,69
Суммарная эксергия		77,30	3,46

1	2	3	4
VII Четвертая зона диффузионного аппарата			
Приход			
1	Промышленная (барометрическая) вода	703,41	31,13
2	Жомопрессовая вода	444,94	19,72
3	Электроэнергия для привода шнека диффузионного аппарата	86,40	3,83
4	Электроэнергия для привода черпачного колеса	27,00	1,20
Суммарная эксергия		1261,71	55,82
Расход			
5	Свекловичный жом	183,30	8,12
6	Внутренние эксергетические потери	329,00	14,57
7	Внешние эксергетические потери	105,20	4,66
Суммарная эксергия		617,55	27,39
Общий подвод		2257,99	100,00
Общий отвод		2257,99	100,00
Эксергетический КПД:		39,67	

Таблица 3

Качественные показатели диффузионного сока и очищенного сока 2 сатурации

Показатели полупродуктов	Схема без обработки све- кловичной стружки пе- ред экстрагированием	Предварительная обработка све- кловичной стружки активиро- ванным раствором (NH ₄) ₂ SO ₄
Диффузионный сок		
Чистота, %	86,2	88,9
Содержание белков, мг/см ³	0,34	0,12
Очищенный сок 2 сатурации		
Чистота, %	91,7	94,9
Цветность, ед. опт. плот.	211	157
Массовая доля солей кальция, % CaO	0,029	0,019

ты которого снижают тепловую деструкцию высокомолекулярных соединений, благодаря чему уменьшается переход несахаров из свекловичной стружки в диффузионный сок в процессе экстрагирования сахарозы.

Предварительная термохимическая обработка позволяет подогреть свекловичную стружку до необходимой температуры диффузионного процесса 72 °С до извлечения сахарозы. В диффузионный аппарат подается уже нагретая стружка, благодаря чему продолжительность экстракционного процесса сокращается.

Заключение

Таким образом, в ходе эксергетического анализа получено значение эксергетического КПД, которое

свидетельствует о том, что применение предварительной обработки свекловичной стружки греющим паром и активированным раствором солевого реагента позволяет повысить степень термодинамического совершенства рассматриваемой системы и создает необходимые условия для сбережения тепловых и материальных ресурсов.

Литература

- Василенко, В. Н. (2018). Эксергетический анализ технологии осциллирующей сушки семян масличных культур. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 1, 81-84.
- Валовой, Б. Н., Тужилкин, В. И., & Петров, С. М. (2016). Комплексная оценка основных типов диффузионных установок свеклосахарного производства. *Сахар*, 11, 34-38.

- Верхола, Л. А. (2018). Проектирование теплотехнологического комплекса с оптимизацией отбора диффузионного сока. *Сахар*, 4, 36-39.
- Игнатъев, Б. Ю. (2018). Возможности снижения рисков микробиологического заражения при поставках свекловичного жома с применением органических кислот. *Сахар*, 2, 35-38.
- Колесников, В. А. (2009). Экономия топливно-энергетических ресурсов на сахарных заводах Краснодарского края. *Сахар*, 9, 48-53.
- Кульнева, Н. Г., Журавлёв, А. А., & Журавлев, М. В. (2019). Моделирование процесса диффузионного извлечения сахарозы с применением термической обработки свекловичной стружки. *Сахар*, 2, 43-47.
- Кульнева, Н. Г., Журавлёв, М. В., & Беляева, Л. И. (2015). Повышение качества питательной воды как способ интенсификации экстрагирования сахарозы из свекловичной стружки. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*, 11, 337-341.
- Кульнева, Н. Г., & Журавлёв, М. В. (2016). Эффективность тепловой обработки свекловичной стружки перед экстрагированием сахарозы на Балашовском сахарном комбинате. *Сахар*, 3, 44-46.
- Кульнева, Н. Г., Губин, А. С., & Бираро, Г. Э. (2018). Разработка и обоснование способа получения сахара с биологически активными добавками. *Сахар*, 5, 46-48.
- Кульнева, Н. Г., Журавлёв, М. В., & Шматова, А. И. (2015). Усовершенствованная технология подготовки питающей воды для диффузионного процесса как способ интенсификации экстрагирования сахарозы из свеклы. *Современные концепции научных исследований*, 5, 123-125.
- Кухар, В. Н., Саповский, В. Д., Табурчак, В. Г., Глушко, С. А. (2015). Оптимизация работы диффузионной установки колонного типа методом усовершенствования конструкции ошпаривателя. *Сахар*, 4, 40-45.
- Мойсеяк, М. Б. (2017). Технология производства высокосахаристого продукта, отвечающего требованиям здорового питания. *Сахар*, 9, 47-49.
- Радченко, Р. В., & Тюльпа, В. В. (2017). Преимущества эксергетического метода термодинамического анализа накопителей энергии. *Электрооборудование: эксплуатация и ремонт*, 8, 20-27.
- Сажин, Б. С., Булеков, А. П., & Устинова, М. А. (2011). Эксергетическая оценка эффективности установок с активными гидродинамическими режимами. *Успехи в химии и химической технологии*, 3, 108-110.
- Шевцов, А. А., & Дранников, А. В. (2016). Эксергетический анализ технологии комплексной переработки протеинсодержащих зеленых растений. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 4, 147-154.
- Филоненко, В. Н. (2018). Эксплуатация подогревателей сахарного завода в аспекте энергетического менеджмента. *Сахар*, 3, 31-33.
- Фролова, Н. А. (2018). Классификация сахаристых кондитерских изделий с учётом региональных особенностей. *Сахар*, 10, 47-50.
- Штерман, С. В., & Бодин, А. Б. (2015). Современные направления промышленного применения сахарозы. *Сахар*, 8, 38-42.
- Цирлин А.М., Ахременков А.А., Григоревский И.Н. (2008). Минимальная необратимость и оптимальное распределение поверхности и тепловой нагрузки теплообменных систем. *Теоретические основы химической технологии*, 2(42), 214-221.
- Cao, N. V., & Chung, J. D. (2019). Exergy analysis of adsorption cooling systems based on numerical simulation. *Energy Technology*, 1 (7), 153-166.
- Gjennestad, M. A., Aursand, E., Magnanelli, E., & Pharoah, J. (2018). Performance analysis of heat and energy recovery ventilators using exergy analysis and nonequilibrium thermodynamics. *Energy and Buildings*, 170, 195-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.013>
- Haryati, S., Maharanti, A., Hamzah, A., & Bustan, M. D. (2016). Improving ammonia reactor performances through exergy analysis. *International Journal of Exergy*, 4(21), 383-404.
- Johnson, P. W., & Langrish, T. A. G. (2018). Exergy analysis of a spray dryer: methods and interpretations. *Drying Technology*, 5(36), 578-596. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1349790>
- Lehnberger, A. (2015). New ways to improve the process of extraction of sugar from sugar beet. *Sugar Industry*, 10, 748-757.
- Marmolejo-Correa, D., & Gundersen, T. (2011). Low Temperature Process Design: Challenges and Approaches for using Exergy Efficiency. *International Scientific Conference Computer Aided Chemical Engineering*, 29, 1909-1913.
- Mojarab Soufiyan, M., Dadak, A., Hosseini, S. S., Nasiri, F., Aghbashlo, M., Dowlati, M., & Tahmasebi, M. (2016). Comprehensive exergy analysis of a commercial tomato paste plant with a double-effect evaporator. *Energy*, 111, 910-922. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.030>
- Sheikholeslami, M., Jafaryar, M., Ganji, D.D., & Li, Z. (2018). Exergy loss analysis for nanofluid forced convection heat transfer in a pipe with modified turbulators. *Journal of Molecular Liquids*, 262, 104-110.
- Ust, Y., Sahin, B., & Cakir, M. (2016). Ecological coefficient of performance analysis and optimisation of gas turbines by using exergy analysis approach.

- International journal of exergy*, 1(21), 39-69. <https://doi.org/10.1504/IJEX.2016.078510>
- Yan, Q., Lu, T., Hou, Y., Nan, X., & Luo, J. (2019). Exergy cascade release pathways and exergy efficiency analysis for typical indirect coal combustion processes. *Combustion theory and modeling*, 6(23), 1134-1149. <https://doi.org/10.1080/13647830.2019.1639826>
- Ye, W., Yang, Z., & Liu, Y. (2018). Exergy loss analysis of the regenerator in a solar stirling engine. *Thermal Science*, 22(2), 729-737. <https://doi.org/10.2298/TSCI170911058Y>

Justification of the Energy Efficiency of the Technology for the Thermochemical Preparation of Beet Chips for the Extraction of Sucrose Using Exergy Analysis Methods

Natalya V. Ruban

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: nataligato@mail.ru*

Nadezhda G. Kulneva

*Voronezh State University of Engineering Technologies
19, Revolution Ave., Voronezh, 394036, Russian Federation
E-mail: ngkulneva@yandex.ru*

Mikhail V. Zhuravlev

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: zyrav2014@yandex.ru*

Statistical studies of the last five years indicate a steady increase in the consumption of high-carb foods, an important place among which is confectionery and white sugar. These products make up a significant part of the diet of a modern person, due to their high taste and the ability to quickly saturate the human body with energy.

Sugar production is an important part of the food industry of the agricultural complex of Russia, the products of which are in high consumer demand, both among the population of the country and among various sectors of the food industry. Significant volumes of processed sugar beets, a plurality of technological operations and the energy capacity of this food production require the timely introduction of advanced technologies that can save energy and resource-saving efficiency in the face of rising energy prices.

In the technological flow of sugar beet production, a significant amount of heat and electric energy is concentrated on the site of extraction of sucrose from beets, necessary to maintain optimal parameters of the diffusion process. A significant number of operating enterprises in the Russian sugar industry carry out the extraction of sucrose using traditional technological solutions into an inclined type apparatus. Traditional technological methods do not allow to provide the standard value of its extraction and need technological improvement.

A technological solution has been developed to improve the traditional technology for the diffusion extraction of sucrose from beets using the thermochemical processing of beet chips before it enters the diffusion apparatus, and an exergy analysis of the proposed development has been carried out. By calculation, the results of experimental studies on the effectiveness of the thermochemical processing of beet chips are confirmed, and the feasibility of using an exergy calculation to assess the thermodynamic state of the heat-technological processes of beet sugar production.

Keywords: confectionery, white sugar, sugar production, sucrose extraction, electrochemical activation, scalding of chips, exergy analysis

References

Vasilenko, V. N. (2018). Exergetic analysis of oscillating drying technology for oilseeds. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh*

tekhnologii [Bulletin of the Voronezh state University of engineering technologies], 1, 81-84.

Valovoy, B. N., Tuzhilkin, V. I., Petrov, S. M. (2016). Comprehensive assessment of the main types of diffusion plants of sugar beet production. *Sahar* [Sugar], 11, 34-38.

How to Cite

Ruban, N. V., Kulneva, N. G., & Zhuravlev, M. V. (2019). Justification of the Energy Efficiency of the Technology for the Thermochemical Preparation of Beet Chips for the Extraction of Sucrose Using Exergy Analysis Methods. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s264>

- Verkhola, L. A. (2018). Design of a heat-technological complex with optimization of diffusion juice selection. *Sahar [Sugar]*, 4, 36-39.
- Ignatiev, B. Yu. (2018). Opportunities to reduce the risks of microbiological contamination in the supply of beet pulp with the use of organic acids. *Sahar [Sugar]*, 2, 35-38.
- Kolesnikov, V. A. (2009). Saving fuel and energy resources at sugar factories in the Krasnodar region. *Sahar [Sugar]*, 9, 48-53.
- Kulneva, N. G., Zhuravlev A. A., & Zhuravlev M. V. (2019). Simulation of the process of diffusion extraction of sucrose using heat treatment of beet chips. *Sahar [Sugar]*, 2, 43-47.
- Kulneva, N. G., Zhuravlev, M. V., & Belyaeva, L. I. (2015). Improving the quality of feed water as a way to intensify sucrose from beet chips. *Mezhdunarodnyj zhurnal prikladnyh i fundamental'nyh issledovanij [International journal of applied and fundamental research]*, 11, 337-341.
- Kulneva, N. G., & Zhuravlev, M. V. (2016). Efficiency of heat treatment of beet chips before extracting sucrose at the Balashovsky sugar mill. *Sahar [Sugar]*, 3, 44-46.
- Kulneva, N. G., Gubin, A. S., & Biraro, G. E. (2018). Development and justification of a method for obtaining sugar with biologically active additives. *Sahar [Sugar]*, 5, 46-48.
- Kulneva, N. G., Zhuravlev, M. V., & Shmatova, A. I. (2015). Improved technology for preparing feed water for the diffusion process as a way to intensify the extraction of sucrose from beets. *Sovremennye koncepcii nauchnyh issledovanij [Modern concepts of scientific research]*, 5, 123-125.
- Kuhar, V. N., Sapovsky, V. D., Taburchak, V. G., & Glushko, S. A. (2015). Optimization of the operation of a column-type diffusion unit by improving the design of the scalding. *Sahar [Sugar]*, 4, 40-45.
- Moyseyak, M. B. (2017). Production technology of a high-sugar product that meets the requirements of a healthy diet. *Sahar [Sugar]*, 9, 47-49.
- Radchenko, R. V., & Tulpa, V. V. (2017). Advantages of the exergetic method of thermodynamic analysis of energy storage. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont [Electrical equipment: operation and repair]*, 8, 20-27.
- Sazhin, B. S., Bulekov, A. P., & Ustinova, M. A. (2011). Exergetic assessment of the efficiency of installations with active hydrodynamic modes. *Uspekhi v himii i himicheskoy tekhnologii [Advances in chemistry and chemical technology]*, 3, 108-110.
- Shevtsov, A. A., & Drannikov, A.V. (2016). Exergetic analysis of technology for complex processing of protein-containing green plants. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernyh tekhnologii [Bulletin of the Voronezh state agrarian University]*, 4, 147-154.
- Filonenko, V. N. (2018). Operation of sugar factory heaters in the aspect of energy management. *Sahar [Sugar]*, 3, 31-33.
- Frolova, N. A. (2018). Classification of sugar confectionery products with regional characteristics. *Sahar [Sugar]*, 10, 47-50.
- Shterman, S. V., & Bodin, A. B. (2015). Modern directions of industrial application of sucrose. *Sahar [Sugar]*, 8, 38-42.
- Tsirlin A. M., Efremenko, A. A., & Grigorevsky, I. N. (2008). Minimal irreversibility and optimal distribution of the surface and heat load of heat exchange systems. *Teoreticheskie osnovy himicheskoy tekhnologii [Theoretical foundations of chemical technology]*, 2(42), 214-221.
- Cao, N. V., & Chung, J. D. (2019). Exergy analysis of adsorption cooling systems based on numerical simulation. *Energy Technology*, 1 (7), 153-166.
- Gjennestad, M. A., Aursand, E., Magnanelli, E., & Pharoah J. (2018). Performance analysis of heat and energy recovery ventilators using exergy analysis and nonequilibrium thermodynamics. *Energy and Buildings*, 170, 195-205. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.04.013>
- Haryati, S., Maharanti, A., Hamzah, A., & Bustan, M. D. (2016). Improving ammonia reactor performances through exergy analysis. *International Journal of Exergy*, 4(21), 383-404.
- Johnson, P. W., & Langrish, T. A. G. (2018). Exergy analysis of a spray dryer: methods and interpretations. *Drying Technology*, 5(36), 578-596. <https://doi.org/10.1080/07373937.2017.1349790>
- Lehnberger, A. (2015). New ways to improve the process of extraction of sugar from sugar beet. *Sugar Industry*, 10, 748-757.
- Marmolejo-Correa, D., & Gundersen, T. (2011). Low Temperature Process Design: Challenges and Approaches for using Exergy Efficiency. *International Scientific Conference Computer Aided Chemical Engineering*, 29, 1909-1913.
- Mojarab Soufiyan, M., Dadak, A., Hosseini, S. S., Nasiri, F., Aghbashlo, M., Dowlati, M., & Tahmasebi, M. (2016). Comprehensive exergy analysis of a commercial tomato paste plant with a double-effect evaporator. *Energy*, 111, 910-922. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.030>
- Shekholeslami, M., Jafaryar, M., Ganji, D.D., & Li, Z. (2018). Exergy loss analysis for nanofluid forced convection heat transfer in a pipe with modified turbulators. *Journal of Molecular Liquids*, 262, 104-110.
- Ust, Y., Sahin, B., & Cakir, M. (2016). Ecological coefficient of performance analysis and optimisation of gas turbines by using exergy analysis approach.

- International journal of exergy*, 1(21), 39-69. <https://doi.org/10.1504/IJEX.2016.078510>
- Yan, Q., Lu, T., Hou, Y., Nan, X., & Luo, J. (2019). Exergy cascade release pathways and exergy efficiency analysis for typical indirect coal combustion processes. *Combustion theory and modeling*, 6(23), 1134-1149. <https://doi.org/10.1080/13647830.2019.1639826>
- Ye, W., Yang, Z., & Liu, Y. (2018). Exergy loss analysis of the regenerator in a solar stirling engine. *Thermal Science*, 22(2), 729-737. <https://doi.org/10.2298/TSCI170911058Y>

Криоэлектрохимическая технология повышения безопасности и пролонгация срока хранения рыбы

Суворов Олег Александрович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: suvorova@mgupp.ru

Применение электрохимически активированных растворов (ЭХА) в системах, образованных из кристаллов льда, обладающих бактерицидными свойствами, приобретает все большее значение в качестве передовой технологии эффективного охлаждения и хранения пищевых водных продуктов. В настоящем исследовании оценивали эффект данной технологии на качество и продление срока годности свежей рыбы – форели радужной во время хранения в холодильной камере (0–2°C). В ходе серии экспериментов образцы рыбы помещали в контейнеры со льдом, образованным на основе ЭХА раствора и водопроводной воды и устанавливали рациональный режим хранения (способ обработки, время) в зависимости от микробиологических, органолептических и физико-химических показателей. В результате исследования было показано, что уже через сутки хранения в бактерицидном льду у опытного образца рыбы наблюдалось снижение бактериальной обсемененности по сравнению с контрольным образцом. Общий срок хранения форели в среде, в течение которого количество колоний микроорганизмов было допустимым, составил 7 суток. У контрольного образца по истечении данного периода наблюдался сплошной рост колоний, что свидетельствует о тотальном загрязнении рыбы. Путем охлаждения свежей рыбы бактерицидным льдом удалось снизить общее микробное число в 1,5–2 раза. Охлаждение и хранение в среде с ЭХА-раствором привело к изменению цвета кожного покрова форели (светлее по сравнению с исходным) и присутствию легкого запаха хлора. Рыба, хранившаяся в обычном льду, практически не изменила цвет, однако приобрела запах несвежей рыбы. В результате исследования показано, что применение ЭХА раствора – эффективный, экологичный и экономически выгодный технологический прием для использования с целью продления сроков свежести рыбы, повышения ее качества и безопасности.

Ключевые слова: безопасность пищевых продуктов, рыба, криотехнология, электрохимическая активация, анолит

Введение

Благодаря химическому составу рыба является важной частью рациона человека, поскольку приготовленные из нее блюда могут содержать белки, жирные кислоты (особенно омега-3), углеводы, витамины и минералы. Белки, содержащиеся в рыбе, выполняют ряд важных функций в организме человека. Ненасыщенные жирные кислоты полезны для сердца и кровеносных сосудов, мозговой ткани и иммунной системы.

Содержание в рыбе значительного количества воды, ненасыщенных жирных кислот и белков предопределяет особые условия ее хранения по сравнению с другими видами сырья животного происхождения. Это связано с химическим составом организма рыб, но представляет собой благоприятную среду для развития микроорганизмов, кото-

рые могут быть патогенными или вызывать порчу рыбы (Подопригора, 2013; Цибизова & Аверьянова, 2009; Бычкова & Горбунова, 2010; Кизеветтер, 1981).

В связи с ежедневным увеличением запроса на высокое качество, безопасность, свежесть и срок годности рыбы и продуктов на ее основе актуальны исследования, направленные на поиск и разработку передовых технологий для увеличения срока годности и предотвращения порчи сырья. Специальные технологии криообработки для пищевого сырья определяются хранением при низких температурах, на мелком льду, в чешуйчатом или «снежном» льду, в смеси морской воды с колотым льдом, в морской воде. При охлаждении рыбы известными методами рост бактерий несколько замедляется, что существенно влияет на качество и срок хранения сырья (Lessa, Cortes, Frigola, &

Esteve, 2017; Lee, Park, Jenkins, Yoon & Park, 2017; Tolstorebrov, Eikevik, & Bantle, 2016; Aliyu, Ibrahim, & Oyi, 2018; Obasohan, Agbonlahor, & Obano, 2010; Thorn, Pendred, & Reynolds, 2017).

Целью данной работы является поиск эффективных способов использования электрохимически активированных водных растворов нового поколения (ЭХАР) для сохранения качества и продления срока годности рыбного сырья. Использование предлагаемого способа обусловлено сочетанием технологических решений, обеспечивающих антимикробное воздействие на различные объекты без использования традиционных химических препаратов стабильного состава, но с использованием химических соединений в метастабильном состоянии, синтезированных электрохимическими методами. Основным направлением в разработке новых способов сохранения качества, безопасности и продления срока годности свежей рыбы являются специальные криотехнологии с применением льда с бактерицидными свойствами, проверенные экспериментально.

Материалы и методы

В качестве сырья использовалась свежая коммерчески доступная (Россия) радужная форель. Во время исследования рыбу, помещенную в специальные емкости со льдом, хранили в холодильной камере. Первая партия образцов была помещена в лёд, образованный из водопроводной воды. Вторая партия была помещена в бактерицидный лед из ЭХА раствора нового поколения «Анолит АНК СУПЕР» (ЭХАР, анолит; ООО «Дельфин Аква», Россия)¹ Подробная научно-методическая и практическая информация о возможности использования дезинфицирующих систем нового поколения в агропродовольственных технологиях представлена в (Бахир, 2014; Fabrizio & Cutter, 2005; Stamatis & Arkoudelos, 2007; Suvorov, Volozhaninova et al., 2018; Suvorov, Kuznetsov et al., 2018; Thorn, Pendred, & Reynolds, 2017; Hammond et al., 2015).

Для производства бактерицидного льда был использован генератор льда COOLEQ ZB-15AP (Китай).

Проведены сравнительные лабораторные исследования по изменению характеристик ЭХАР после процесса замораживания. Для этого отбирали пробы анолита и произведенного из него льда для определения степени бактерицидной активности, а также рыбного сырья, содержащегося в бактерицидном льду. С помощью микроскопического исследования были проанализированы характеристики образцов льда двух типов. Контроль органолептических и микробиологических показателей качества радужной форели проводился в соответствии с нормативной документацией, указанной ниже.

Органолептические показатели рыбного сырья определялись в соответствии с ГОСТ 7631-2008.² На основании результатов испытаний был сделан вывод о свежести рыбы и ее пригодности в качестве сырья для проведения экспериментов в соответствии с характерными особенностями. Внешний вид и цвет продукции определяли путем осмотра продукции. Цвет изделий определялся на поверхности или в сечении, сделанном непосредственно при осмотре. Консистенция рыбы была определена, когда продукт был сжат пальцами или нажатием на поперечное сечение. Запах рыбы определялся на поверхности. Контроль проводился до начала эксперимента, после эксперимента и во время холодного хранения.

Оценка микробиологических показателей проводилась по правилам ГОСТ 31747-2012³ и ГОСТ Р 51446-99 (ИСО 7218-96)⁴. Образцы рыбы охлаждали и хранили в течение 7 суток во льду при температуре от 0 до -2 °С. Для сравнения эффективности бактерицидного льда контрольные образцы сырья охлаждали и хранили во льду из водопроводной воды. Затем определяли индекс общего количества бактерий⁵. Для определения индекса промывка проводилась в асептических условиях в чашках Петри. Перед посевом готовили десятикратные разведения. Затем 1 см³ образца брали и вводили в питательную среду чашки Петри. После затвердевания среды чашки Петри помещали в термостат при 37 °С на 24 часа. В конце этого периода подсчитывали количество выращенных колоний в каждой чашке. Метод определения *E.coli* проводился в соответствии с требованиями нормативных документов.

¹ Научно-производственная компания «Дельфин Аква», <http://www.delfin-aqua.com/>.

² ГОСТ 7631-2008. «Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей». Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-7631-2008>

³ ГОСТ 31747-2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий)». Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200098583>

⁴ ГОСТ Р 51446-99 (ИСО 7218-96) «Микробиология. Продукты пищевые. Общие правила микробиологических исследований». Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200025731>

⁵ Красникова, Л.В., и Гунькова, П.И. *Микробиологическая безопасность пищевого сырья и готовой продукции*. Учеб. метод. пособие. СПб.: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. 91 с.

Измерение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) было выполнено с использованием соответствующих электродов.

Органолептические характеристики и микробное загрязнение анализировали по результатам 5-10 определений каждого параметра. Для определения статистической значимости различий в средних значениях использовали t-критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Полученные характеристики ЭХАР до и после процесса замораживания представлены в таблице 1 (результаты 5-10 определений каждого показателя представлены в виде среднего, $p < 0,05$, сравнение до/после).

После использования льда, полученного из анолита, наблюдается уменьшение его окислительной способности и концентрации окислителей в соответствии с результатами измерения ОВП. Результаты микроскопического исследования льда, полученного из водопроводной воды (значительное количество посторонних веществ) и из ЭХАР, показаны на рис. 1, 2.

Органолептический анализ образцов рыбного сырья (радужной форели) проводился на 5 сутки с момента начала эксперимента. Результаты показаны в таблице 2.

Таблица 1
Сравнительный анализ характеристик ЭХАР

Наименование	Концентрация окислителей, мг/л	Общая концентрация растворенных веществ (минерализация), г/л	ОВП, мВ
Анолит	344	0,57	979
Бактерицидный лед из анолита до использования	245	0,84	956
Бактерицидный лед из анолита после использования	64	1,20	673

Таблица 2
Органолептический анализ образцов рыбного сырья после хранения в обычном льду (из водопроводной воды) и в бактерицидном льду (из анолита)

Индекс	Показатель
Цвет перед экспериментом	серый, характерный для кожи
Цвет после хранения в обычном льду	серый
Цвет после хранения в бактерицидном льду	светло-серый
Запах перед экспериментом	слабовыраженный
Запах после хранения на обычном льду	запах несвежего рыбного сырья
Запах после хранения в бактерицидном льду	легкий запах окислителей

Можно сделать вывод, что охлаждение и хранение в среде с ЭХАР влияет на изменение органолептических показателей рыбного сырья. У рыб, которые хранились в бактерицидном льду, цвет кожи становится светлее по сравнению с оригиналом и появляется слабый запах хлора. В то же время при повторной обработке испытуемых образцов анолитом с минимальной концентрацией окислителей (50 ± 15 мг/л) слабый запах исчезает. Рыба, хранящаяся в обычном льду, почти не меняла цвет, но появился запах несвежей рыбы (исключена из дальнейших экспериментов).

В образце радужной форели (рис. 3), который хранился на льду из водопроводной воды в течение одного дня, наблюдался непрерывный рост колоний (общее загрязнение). При использовании метода охлаждения и хранения сырья в бактерицидном льду наблюдается тенденция к значительному ($p < 0,05$) снижению микробиологического загрязнения (рис. 4, 5).

Отдельные колонии микроорганизмов наблюдались в образцах, хранившихся одни сутки в бактерицидном льду (рис. 4). На седьмые сутки хранения форели во льду из ЭХАР (рис. 5) количество выращенных колоний не превышало допустимых норм. Органолептические характеристики этих образцов рыб также соответствовали необходимым требованиям.

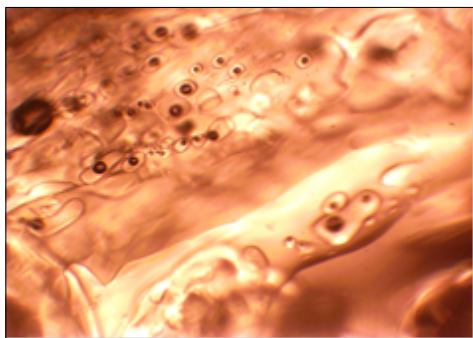


Рисунок 1. Лед из водопроводной воды, 10х

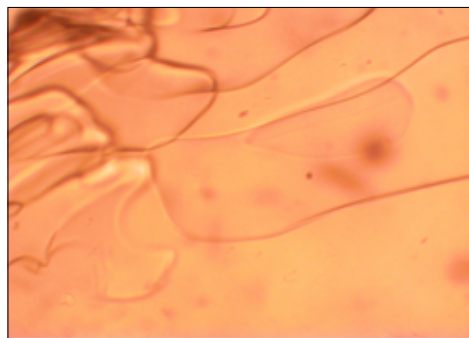


Рисунок 2. Лед из ЭХАР, 10х

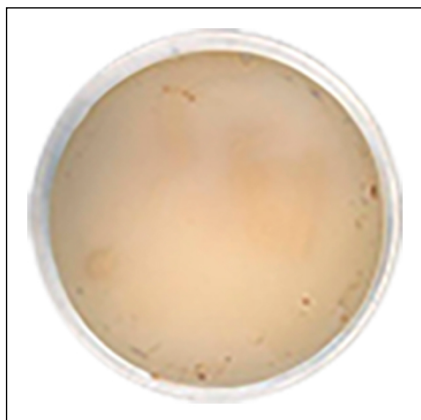


Рисунок 3. Образец хранился одни сутки в обычном льду (непрерывный рост микроорганизмов)

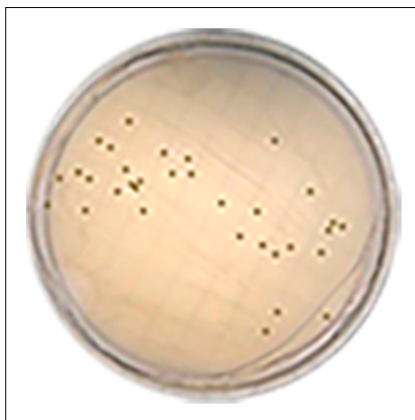


Рисунок 4. Образец хранился одни сутки в бактерицидном льду (отдельные колонии микроорганизмов)

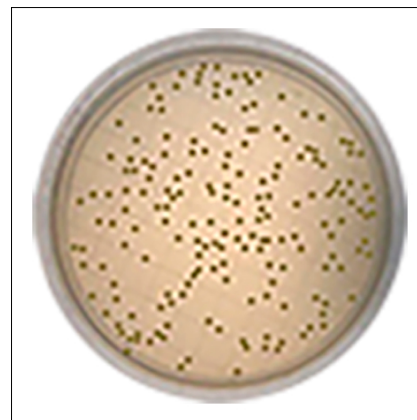


Рисунок 5. Образец хранился семь суток в бактерицидном льду (колонии микроорганизмов)

Серия специально проведенных экспериментов показала отсутствие *E.coli*.

Методологические принципы исследования для обоснования срока годности пищевых продуктов приведены в МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов». Основой санитарно-эпидемиологического обоснования срока годности пищевых продуктов является проведение микробиологических, санитарно-химических исследований, оценка органолептических свойств образцов продукции при хранении при температурах, указанных в нормативной и/или технической документации. Продолжительность исследования продукта должна быть больше ожидаемого срока годности, указанного в проекте документации, на время, определяемое так называемым коэффициентом запаса. По результатам работы коэффициент резерва составил 1,4, срок хранения - 7 суток.

Благоприятное влияние криотехнологии на улуч-

шение качества и сохранности рыбы и рыбного сырья было показано в различных исследованиях (Lee et al., 2017; Tolstorebrov, Eikevik, & Bantle, 2016; Пугачев, Соловатова, Воложанинова, Рубан, & Суворов, 2018). Сопряженная криоэлектрохимическая технология была применена Thorn et al. для свежих продуктов питания в 2017 году (Thorn, Pendred, & Reynolds, 2017). В работе выявлены антимикробные возможности этого метода хранения при использовании ЭХАР в форме аэрозоля. Различия между этим «аэрозольным» методом и «бактерицидным льдом», используемым в нашем исследовании, к сожалению, не позволяют напрямую сравнить эффективность этих методов. Микробиологическая эффективность электрохимически активированных растворов для дезинфекции и хранения свежих продуктов подробно обсуждается в литературе (Abadias, Usall, Oliveira, Alegre, & Viñas, 2008; Goodburn & Wallace, 2013; Hung, Tilly, & Kim, 2010; Meireles, Giaouris, & Simões, 2016; Niemira & Cooke, 2010; Olaimat & Holley, 2012; Ölmez & Temur, 2010; Robinson, Lee, Greenman, Salisbury, & Reynolds, 2010; Shen, Norris, Williams, Hagan, & Li, 2016).

Заключение

Согласно результатам исследований, методы охлаждения и хранения сырья с использованием льда, образованного из анолита, являются более эффективными с точки зрения органолептических и микробиологических показателей безопасности по сравнению с хранением рыбы при низких температурах в обычном мелко измельченном льду. Методы использования универсальных дезинфицирующих средств, таких как анолит, обеспечат качество и безопасность пищевых продуктов без ущерба для здоровья потребителей. Срок годности форели в анолитной среде достиг 7 суток при коэффициенте резерва 1,4, общее количество микроорганизмов находилось на допустимом уровне. Органолептические характеристики образцов рыб соответствовали необходимым требованиям. Важно отметить, что проведение современных научных исследований по антибактериальной активности ЭХАР даст новые знания и позволит разработать новые подходы для обеспечения защиты и микробиологической безопасности пищевых продуктов. В целях эпидемиологического обоснования продления срока годности рыб при криоэлектрохимических воздействиях будут продолжены биотехнологические, органолептические и физико-химические исследования образцов при хранении при низких температурах.

Литература

- Бахир, В. М. (2014). *Электрохимическая активация: Изобретения, техника, технология*. Вива-Стар.
- Бычкова, Л. И., & Горбунова, О. В. (2010). *Микробиология рыбы и рыбных продуктов*. МГУТУ.
- Кизеветтер, И. В. (1981). *Технология обработки водного сырья*. Дальиздат.
- Подопригора, И. В. (2013) *Польза и вред знакомых продуктов*. АСТ.
- Пугачев, И. О., Соловатова, Э. Т., Воложанинова, С. Ю., Рубан, Н. В., & Суворов О. А. (2018). Сохранение качества и продление срока хранения свежей рыбы. *Хранение и переработка сельскохозяйственной продукции*, 1, 51-55.
- Цибизова, М. Е., & Аверьянова, Н. Д. (2009). Использование рыбного белка в сбалансированном питании. *Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство*, 1, 166-169.
- Abadias, M., Usall, J., Oliveira, M., Alegre, I., & Viñas, I. (2008). Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial contamination on minimally-processed vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, 123(1-2), 151–158. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.008.
- Aliyu, A., Ibrahim, Y. K. E., & Oyi, R. A. (2018). Bacteriological and Elemental Quality of *Clarias gariepinus* (cat fish) Samples from River Lavun, Bida Niger state, Nigeria. *Nigerian Journal of Pharmaceutical Research*, 12(2), 139-147.
- Fabrizio, K. A., & Cutter, C. N. (2005). Application of electrolyzed oxidizing water to reduce *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat meats. *Meat Science*, 71(2), 327-333. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.012>
- Goodburn, C., & Wallace, C. A. (2013). The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review. *Food Control*, 32(2), 418–427. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.12.012>
- Hammond, S. T., Brown, J. H., Burger, J. R. Flanagan, T. P., Fristoe, T. S., Mercado-Silva, N., Nekola, J. C., & Okie J. G. (2015). Food Spoilage, Storage, and Transport: Implications for a Sustainable Future. *BioScience*, 65(8), 758–768. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv081>
- Hung, Y.-C., Tilly, P., & Kim, C. (2010). Efficacy of electrolyzed oxidizing (EO) water and chlorinated water for inactivation of *Escherichia Coli* 0157:H7 on strawberries and broccoli. *Journal of Food Quality*, 33(5), 559–577. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00344.x>
- Lee, J., Park, H. W., Jenkins, R., Yoon, W. B., & Park J. W. (2017). Image and chemical analyses of freezing-induced aggregates of fish natural actomyosin as affected by various phosphate compounds. *Food Bioscience*, 19, 57-64. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.06.007>
- Lessa, K., Cortes, C., Frigola A., & Esteve, M. J. (2017). Food healthy knowledge, attitudes and practices: Survey of the general public and food handlers. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 7, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2016.11.004>
- Meireles, A., Giaouris, E., & Simões, M. (2016). Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry. *Food Research International*, 82, 71–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.021>
- Niemira, B. A., & Cooke, P. H. (2010). *Escherichia coli* O157:H7 biofilm formation on romaine lettuce and spinach leaf surfaces reduces efficacy of irradiation and sodium hypochlorite washes. *Journal of Food Science*, 75(5), M270–M277. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01650.x>
- Obasohan, E. E., Agbonlahor, D. E., & Obano, E. E. (2010). Water pollution: A review of microbial quality and health concerns of water, sediment and fish in the aquatic ecosystem. *African Journal of Bio-*

- technology*, 9(4), 423-427. Available at: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/77942>
- Olaimat, A. N., & Holley, R. A. (2012). Factors influencing the microbial safety of fresh produce: A review. *Food Microbiology*, 32(1), 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.04.016>
- Ölmez, H., & Temur, S. D. (2010). Effects of different sanitizing treatments on biofilms and attachment of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on green leaf lettuce. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 964-970. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.005>
- Robinson, G. M., Lee, S. W.-H., Greenman, J., Salisbury, V. C., & Reynolds, D. M. (2010). Evaluation of the efficacy of electrochemically activated solutions against nosocomial pathogens and bacterial endospores. *Letters in Applied Microbiology*, 50(3), 289-294. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.2009.02790.x>
- Shen, C., Norris, P., Williams, O., Hagan, S., & Li, K. (2016). Generation of chlorine by-products in simulated wash water. *Food Chemistry*, 190, 97-102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.146>
- Stamatis, N., & Arkoudelos, J. S. (2007). Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on microbial, chemical and sensory quality indicators of fresh, filleted *Sardina pilchardus* at 3 °C. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(6), 1164-1171. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2858>
- Suvorov, O. A., Kuznetsov, A. L., Shank, M. A., Volozhaninova, S. Yu., Pugachev, I. O., Pasko, O. V. & Babin, Yu. V. (2018). Electrochemical and Electrostatic Decomposition Technologies As A Means of Improving the Efficiency and Safety of Agricultural and Water Technologies. *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*, 7(2), 43-5. Available at: <https://ijpras.com/en/article/electrochemical-and-electrostatic-decomposition-technologies-as-a-means-of-improving-the-efficiency-and-safety-of-agricultural-and-water-technologies>
- Suvorov, O. A., Volozhaninova, S. Yu., Pugachev, I. O., Kanina, N. Yu., Voyno L. I., & Yudina T. P. (2018). Provision of microbiological safety in the food industry based on special technological supporting solutions. *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*, 7(1), 103-113. Available at: <https://ijpras.com/en/article/provision-of-microbiological-safety-in-the-food-industry-based-on-special-technological-supporting-solutions>
- Thorn, R., Pendred, J., & Reynolds, D. M. (2017). Assessing the antimicrobial potential of aerosolised electrochemically activated solutions (ECAS) for reducing the microbial bio-burden on fresh food produce held under cooled or cold storage conditions. *Food Microbiology*, 68, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.06.018>
- Tolstorebrov, I., Eikevik, T. M., & Bantle, M. (2016). Effect of low and ultra-low temperature applications during freezing and frozen storage on quality parameters for fish. *International Journal of Refrigeration*, 63, 37-47. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.11.003>

Cryogenic Electrochemical Technology for Increasing the Safety and Shelf Life of Fish

Oleg A. Suvorov

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: suvorova@mgupp.ru

The usage of electrochemically activated solutions (ECA) in systems formed from ice crystals with bactericidal properties is becoming increasingly important. It is an advanced technology for the effective cooling and storage of aquatic products. In this research the effect of this technology on the quality and extension of shelf life of fresh fish - rainbow trout during storage in a refrigerator (0-2 °C) was studied. During a series of experiments, fish samples were placed in containers with ice formed on the basis of ECA solution and tap water and a rational storage mode (processing method, time) was established depending on microbiological, organoleptic, and physicochemical parameters. As a result of the study, it was shown that after a day of storage in bactericidal ice, a decrease in bacterial contamination was observed in the experimental fish samples in comparison with the control samples. The total shelf life of trout in the special environment, during which the number of colonies of microorganisms was acceptable, was 7 days. In the control samples, after this period, a continuous growth of colonies was observed, which indicates a total contamination of the fish. By cooling fresh fish with bactericidal ice, it was possible to reduce the total microbial number by 1.5-2 times. Cooling and storage in an environment with an ECA solution led to a change in the colour of the skin of the trout (lighter than the original) and the presence of a slight smell of chlorine. Fish stored in ordinary ice practically did not change colour but acquired the smell of stale fish. As a result of the study, it was shown that the usage of ECA solution is an effective, environmentally friendly and cost-effective technological method for implementation in order to extend the freshness of fish, improve the quality and safety.

Keywords: food safety, fish, cryotechnology, electrochemical activation, anolyte

References

- Bakhir, V. M. (2014). Elektrohimičeskaya aktivaciya: Izobreteniya, tekhnika, tekhnologiya [Electrochemical activation: Inventions, technique, technology]. Viva-Star.
- Bychkova, L. I. & Gorbunova, O. V. (2010). Mikrobiologiya ryby i rybnyh produktov [Microbiology of fish and fish products]. MGUTU
- Kizevetter, I. V. (1981). Tekhnologiya obrabotki vodnogo syrja [The technology of processing water raw materials]. Dal'izdat.
- Podoprigora, I. V. (2013). Polza i vred znakomyh produktov. [The benefits and harms of familiar products]. AST.
- Pugachev, I. O., Solovatova, E. T., Volozhaninova, S. YU., Ruban, N. V., & Suvorov, O. A. (2018). Primenenie elektrohimičeskii aktivirovannyh vodnyh rastvorov dlya skhraneniya kachestva i prodleniya srokov godnosti svezhej ryby [Preserving the Quality and Extending the Shelf Life of Fresh Fish] *Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ya* [Storage and Processing of Farm Products], 1, 51-55.
- Tsibizova, M. E., & Averyanova, N. D. (2009). Use of fish protein in a balanced diet. *Vestnik AGU, Seriya: Rybnoe hozyajstvo* [Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries], 1, 166-169.
- Abadias, M., Usall, J., Oliveira, M., Alegre, I., & Viñas, I. (2008). Efficacy of neutral electrolyzed water (NEW) for reducing microbial contamination on minimally-processed vegetables. *International Journal of Food Microbiology*, 123(1-2), 151-158. doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.008.
- Aliyu, A., Ibrahim, Y. K. E., & Oyi, R. A. (2018). Bacteriological and Elemental Quality of Clarias gariepinus (cat fish) Samples from River Lavun, Bida Niger state, Nigeria. *Nigerian Journal of Pharmaceutical Research*, 12(2), 139-147.
- Fabrizio, K. A., & Cutter, C. N. (2005). Application of electrolyzed oxidizing water to reduce *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat meats. *Meat Science*, 71(2), 327-333. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.012>
- Goodburn, C., & Wallace, C. A. (2013). The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review. *Food Control*, 32(2), 418-427. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.12.012>
- Hammond, S. T., Brown, J. H., Burger, J. R., Flanagan, T. P., Fristoe, T. S., Mercado-Silva, N., Nekola, J. C.,

How to Cite

Suvorov, O. A. (2019). Cryogenic Electrochemical Technology for Increasing the Safety and Shelf Life of Fish. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s1>

- & Okie J. G. (2015). Food Spoilage, Storage, and Transport: Implications for a Sustainable Future. *BioScience*, 65(8), 758–768. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv081>
- Hung, Y.-C., Tilly, P., & Kim, C. (2010). Efficacy of electrolyzed oxidizing (EO) water and chlorinated water for inactivation of *Escherichia Coli* O157:H7 on strawberries and broccoli. *Journal of Food Quality*, 33(5), 559–577. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2010.00344.x>
- Lee, J., Park, H. W., Jenkins, R., Yoon, W. B., & Park J. W. (2017). Image and chemical analyses of freezing-induced aggregates of fish natural actomyosin as affected by various phosphate compounds. *Food Bioscience*, 19, 57–64. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.06.007>
- Lessa, K., Cortes, C., Frigola A., & Esteve, M. J. (2017). Food healthy knowledge, attitudes and practices: Survey of the general public and food handlers. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 7, 1–4. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2016.11.004>
- Meireles, A., Giaouris, E., & Simões, M. (2016). Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry. *Food Research International*, 82, 71–85. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.01.021>
- Niemira, B. A., & Cooke, P. H. (2010). *Escherichia coli* O157:H7 biofilm formation on romaine lettuce and spinach leaf surfaces reduces efficacy of irradiation and sodium hypochlorite washes. *Journal of Food Science*, 75(5), M270–M277. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2010.01650.x>
- Obasohan, E. E., Agbonlahor, D. E., & Obano, E. E. (2010). Water pollution: A review of microbial quality and health concerns of water, sediment and fish in the aquatic ecosystem. *African Journal of Biotechnology*, 9(4), 423–427. Available at: <https://www.ajol.info/index.php/ajb/article/view/77942>
- Olaimat, A. N., & Holley, R. A. (2012). Factors influencing the microbial safety of fresh produce: A review. *Food Microbiology*, 32(1), 1–19. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2012.04.016>
- Ölmez, H., & Temur, S. D. (2010). Effects of different sanitizing treatments on biofilms and attachment of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on green leaf lettuce. *LWT - Food Science and Technology*, 43(6), 964–970. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.005>
- Robinson, G. M., Lee, S. W.-H., Greenman, J., Salisbury, V. C., & Reynolds, D. M. (2010). Evaluation of the efficacy of electrochemically activated solutions against nosocomial pathogens and bacterial endospores. *Letters in Applied Microbiology*, 50(3), 289–294. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.2009.02790.x>
- Shen, C., Norris, P., Williams, O., Hagan, S., & Li, K. (2016). Generation of chlorine by-products in simulated wash water. *Food Chemistry*, 190, 97–102. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.04.146>
- Stamatis, N., & Arkoudelos, J. S. (2007). Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on microbial, chemical and sensory quality indicators of fresh, filleted *Sardina pilchardus* at 3 °C. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(6), 1164–1171. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2858>
- Suvorov, O. A., Kuznetsov, A. L., Shank, M. A., Volozhaninova, S. Yu., Pugachev, I. O., Pasko, O. V. & Babin, Yu. V. (2018). Electrochemical and Electrostatic Decomposition Technologies As A Means of Improving the Efficiency and Safety of Agricultural and Water Technologies. *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*, 7(2), 43–5 Available at: <https://ijpras.com/en/article/electrochemical-and-electrostatic-decomposition-technologies-as-a-means-of-improving-the-efficiency-and-safety-of-agricultural-and-water-technologies>
- Suvorov, O. A., Volozhaninova, S. Yu., Pugachev, I. O., Kanina, N. Yu., Voyno L. I., & Yudina T. P. (2018). Provision of microbiological safety in the food industry based on special technological supporting solutions. *International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences*, 7(1), 103–113. Available at: <https://ijpras.com/en/article/provision-of-microbiological-safety-in-the-food-industry-based-on-special-technological-supporting-solutions>
- Thorn, R., Pendred, J., & Reynolds, D. M. (2017). Assessing the antimicrobial potential of aerosolised electrochemically activated solutions (ECAS) for reducing the microbial bio-burden on fresh food produce held under cooled or cold storage conditions. *Food Microbiology*, 68, 41–50. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.06.018>
- Tolstorebrov, I., Eikevik, T. M., & Bantle, M. (2016). Effect of low and ultra-low temperature applications during freezing and frozen storage on quality parameters for fish. *International Journal of Refrigeration*, 63, 37–47. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.11.003>

Модификация полимерных смесей с сополимерами для получения полимерных композиций с улучшенными деформационно-прочностными характеристиками

Тверитникова Изабелла Сергеевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: iza-1995@bk.ru

Банникова Ольга Анатольевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: bannikova0a@mgupp.ru

Безнаева Ольга Владимировна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: olgabeznaeva@mgupp.ru

Романова Валентина Александровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: bwal1307@mgupp.ru

Загребина Дарья Михайловна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: zagrebinadm@mgupp.ru

Кондратова Тамара Александровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: flash_toma@mail.ru

Утилизация многослойных полимерных материалов затруднена, из-за сложности в процессах сортировки и разделения смешанных отходов, поэтому чаще всего они попадают на свалки, полигоны или сжигаются, что приводит к экологической и экономической проблеме в стране. В настоящее время существуют способы переработки отходов упаковки с исключением стадии сортировки при помощи химико-физической модификации. Статья посвящена проведению процесса модификации полиолефиновых смесей на основе полиэтилена и полипропилена, а также проведению комплексного исследования полученного вторичного сырья, которое направлено на увеличение технологической совместимости полимерных материалов для разработки технологии рециклинга с перспективой возврата полимерных композиций в производственный цикл. В работе были поставлены следующие задачи: провести комплексное исследование полимерных композиций на основе полиолефинов, которые модифицированы сополимером этилена с пропиленом в различном соотношении компонентов; изучить влияние модификатора на физико-механические свойства полимерных смесей; изучить влияние реологических свойств полимерных композиций, модифицированных сополимером; предложить технологию повторной переработки вторичных полиолефиновых композиций в производственный цикл. В качестве объектов исследования использовали полиэтилен, полипропилен и сополимер этилена с пропиленом, как связующее звено, в разном соотношении компонентов. Образцы получали на лабораторном

одношнековом экструдере при многократной переработке. Научные исследования проведены с использованием метода капиллярной вискозиметрии, пикнометрического метода для определения реологических свойств, метода одноосного растяжения для изучения физико-механических свойств полимерных композиций. Установлено, что введение модификатора (сополимер этилена с пропиленом) приводит к увеличению относительного удлинения при разрыве у полимерных композиций в соотношении 70 % полиэтилена 30 % полипропилена и разрушающее напряжение для композиций на основе полиэтилена и полипропилена в соотношении 50:50 и 30:70 соответственно. В результате проведенных исследований предложена технология получения многослойных упаковочных материалов с использованием отходов упаковки в среднем слое для контакта с пищевыми продуктами; предложена технология переработки полиолефиновых смесей различной химической природы без предварительной сортировки, с получением упаковки технического назначения и предметов бытового использования.

Ключевые слова: полимеры, сополимер, модификация полимеров, многослойные пленки, созэкструзия, деформационно-прочностные характеристики

Введение

Упаковочная индустрия в настоящее время является одним из приоритетных направлений в мире использования пластмасс. В упаковочной отрасли используется 41 % полимеров, откуда 47 % идет на упаковку для продуктов питания (Любешкина, 2012). В Европе для изготовления упаковки расход полимерных материалов составляет более 38 % от всего объема потребления пластмасс, и около 29 % от объема потребления термопластов в США (Богданова, 2014). Тенденция развития упаковочных полимерных материалов для продуктов питания имеет большую направленность на введение в сегмент рынка многослойных полимерных материалов, обладающих высоким комплексом барьерных свойств и обеспечивающие оптимальные условия хранения продукции длительное время. Как на стадии производства, так и после использования многослойных упаковок образуются смешанные полимерные отходы, утилизация которых затруднена вследствие сложности сортировки, идентификации и разделения. Поэтому после использования многослойной упаковки, в основном они попадают на свалки и полигоны или сжигаются, что приводит не только к потере ценного полимерного сырья, но и наносит ущерб окружающей среде (Зелке, 2011; Кербер, 2014; Ла Мантиа, 2006; Adeniyi, 2016).

Для снижения количества смешанных полимерных отходов внедряется интегральный подход, который включает в себя ряд мероприятий по сокращению количества отходов. В последнее время большое внимание уделяется таким вопросам, как

разработка технологии для переработки упаковочных многослойных материалов с перспективой возврата получаемого вторичного полимерного сырья в производственный цикл (Кириш, 2016; Суворова, 2008; Пищулин, 2013; Biron, 2017; Muthuraj, 2015)¹. Многие многослойные полимерные материалы, используемые в упаковке, состоят из полимеров, которые отличаются по своей химической природе, что ведет за собой ограничения вторичной переработки таких материалов (Мжачих, 2009; Ананьев, 2006, 2008). В докладе, посвященном рециклингу пластмасс, генеральный директор PET Baltija Каспарс Фогельманис сообщил о том, что в Европе на одного человека в год в среднем производится 492 кг отходов, из которых перерабатывается меньшая часть — 42 %, а оставшиеся 58 % захороняются или сжигаются. В настоящее время в Евросоюзе около 50 % объема собираемого и перерабатываемого мусора из пластмасс приходится на Францию, Германию и Италию. Также в образующую пятерку стран входят Испания и Великобритания, которая собирает около 71 % всего объема полимерных отходов в Европейском союзе (ЕС). Европейской Комиссией предложено увеличить процент переработки всего потока пластиковых отходов в ЕС до 55 % к 2025 г.²

В состав многослойных материалов, для упаковочной индустрии, входят слои полимерных пленок, которые имеют разную химическую природу, например, полиэтилен (ПЭ), полиамид (ПА), полипропилен (ПП), полиэтилентерефталат (ПЭТФ), полистирол (ПС), поливинилхлорид (ПВХ), различные сополимеры и т.п., а также разное количество полимерных слоев. Большинство полимеров термодинамически несовместимы, поскольку имеют

¹ Кириш, И. А. (2008). Направленная модификация полимерных отходов для повторной переработки. Международная конференция «РеПласт» Москва, 32-33.

² Сжигать нельзя, перерабатывать! (2018, январь 13). *Plastinfo*, 9-10.

разные технологические показатели такие, как реологические свойства и разные температурные режимы переработки (Кирш, 2016; Шайерс, 2012; Ху, 2015). При совместной переработке таких полимерных отходов образуются технологически несовместимые системы, которые приводят не только к уменьшению эксплуатационных характеристик вторичного сырья, но и снижают качество изделия, что в свой черед не удовлетворяют спросу на рынке сбыта (Назаров, 2008; Пищулин, 2013; Maris, 2018). Это понижает эффективность совместной переработки полимерных отходов. Известно, что полимер с более низкой температурой плавления может подвергаться деструкции при температуре переработки второго (с большей температурой плавления), что в итоге приводит к снижению эксплуатационных характеристик получаемых материалов (Овчиникова, 2000; Рудольф, 2018; Кирш, 2014, 2015). Для устранения всех недостатков целесообразно использовать модификацию полимерных композиций. Для увеличения технологической совместимости в полимерных смесях используют различные приемы: введение агентов совместимости, модификаторов на основе ангидридов³.

На сегодняшний день большое влияние уделяется исследованиям в области модификации полимерных смесей путем введения реакционно-способных добавок (малеиновые ангидриды и диангидриды привитого типа) (Сирота, 1974; Wang, 2015). В случае модификации полимерных смесей агентами совместимости может реализовываться механизм взаимодействия макромолекул с реакционно-способными модификаторами с образованием привитых, статистических или блок-сополимеров (Беспалов, 1981; Дикун, 2017; Кирш, 2016; Мэнсон, 1979; Ношей, 1980; Пол & Бакнелл, 2009)⁴. Необходимым условием модификатора является создание макромолекулярных центров, способных инициировать рост привитых ветвей.

Основным способом активации полимеров в этом случае является окисление с образованием гидроперекисных групп, при последующем разложении которых образуются свободные радикалы, как инициаторы роста привитых цепей. Основными параметрами скорости реакции сополимеризации является степень окисления полимера, температура и продолжительность процесса. Такие сополимеры при добавлении в полимерные смеси увеличивают технологический интервал совместимости (Мещанкина, 2016; Brow, 1989; Creton, 1991; Fayt,

1987; Fayt, 1981; Kakhramanov, 2019).

Однако при использовании агента совместимости для увеличения технологической совместимости полимерных систем необходимо, чтобы модификатор имел сходные по химической природе отрезки с макромолекулами полимеров, входящих в состав смеси (Кирш, 2016; Пол & Бакнелл, 2009). В случае если многослойные пленочные материалы представляют собой неизвестные системы, то введение агента совместимости, либо не приводит к удовлетворительному результату, либо даже может привести к ухудшению эксплуатационных свойств композиции.

Поэтому целью работы является проведение комплексного исследования, которое направлено на увеличение технологической совместимости многослойных упаковочных материалов для разработки технологии их повторной переработки с перспективой возврата полученного вторичного сырья в производственный цикл.

В работе были поставлены задачи:

- провести комплексное исследование полимерных композиций на основе полиолефинов, которые модифицированы сополимером этилена с пропиленом (СЭП) в различном соотношении компонентов;
- изучить влияние СЭПа на физико-механические свойства полимерных смесей;
- изучить влияние реологических свойств полимерных композиций, модифицированных сополимером;
- предложить технологию повторной переработки вторичных полиолефиновых композиций в производственный цикл.

Методика исследования

Материалы

В данной работе исследовался процесс модификации вторичного полимерного сырья и смесей на основе полиэтилена и полипропилена. В качестве объектов исследования были выбраны такие полимеры: полиэтилен низкой плотности (ПЭНП) марки 15803-020 производитель ПАО «Казаньоргсинтез» (показатель текучести расплава (ПТР) – 2 г/10 мин), ПП марки 21030 производитель ПАО «Казаньоргсинтез» (ПТР – 4 г/10 мин) и сополимер этилена с пропиленом (СЭП) (50:50) марки PP8300G

³ Кочнев, А. М., & Галибеев С. С. (2002). *Модификация полимеров: конспект лекций (с. 15-26)*. Издательство Казанского государственного технологического университета.

⁴ там же

производитель ОАО «Нижнекамскнефтехим» (ПТР – 2 г/10 мин), а также композиции на их основе.

Композиционные смеси составлялись посредством смешения исходных компонентов. В работе были получены полимерные смеси в различном соотношении компонентов на основе ПЭ и ПП (30:70, 50:50, 70:30), модифицированные сополимером этилена с пропиленом в количестве 3 и 10%. В качестве контрольных образцов использовали чистые композиции ПЭ:ПП (30:70, 50:50, 70:30).

Оборудование

Исследования проводились в лаборатории композитных материалов Московского государственного университета пищевых производств. В работе образцы в виде стренг получали на лабораторном одношнековом экструдере при температуре переработки $230 \pm 3^\circ\text{C}$. В работе использовали принцип моделирования процесса повторной переработки полимеров и смесей из несовместимых полимеров. Поэтому обработка расплавов полимеров проводилась по циклам. Переработка осуществлялась в три цикла. Каждый цикл включал процесс переработки полимерных смесей на лабораторном оборудовании с последующим измельчением в дробилке ножевого типа.

Методы

В работе использовались следующие методы исследования:

- на реологические свойства полимерных композиций, методом капиллярной вискозиметрии, определяя показатель текучести расплава термопластов (ГОСТ 1145-73);
- на физико-механические свойства полимерных материалов методом испытания на растяжение (ГОСТ 14236-81);
- на определение плотности пикнометрическим методом (ГОСТ 15139-69). Данный метод заключается в сравнении плотности образцов с плотностью рабочей жидкости в момент перехода образца во взвешенное состояние.

Процедура исследования

Реологические исследования

Эксперимент проводился на приборе типа ИИРТ, предназначенном для лабораторного определения индекса расплава термопластов в порошкообразном, гранулированном прессованном виде. В соответствии с требованием ГОСТ 1645-73 установка ИИРТ определяет показатель текучести расплава

пластмасс. Она измеряет массу пластмасс, при помощи выдавливания через капилляр при определенном давлении и температуры в экструзионной камере.

Необходимая для испытания эластомера температура создается в экструзионной камере электрическим нагревателем и поддерживается с заданной точностью с помощью автоматического регулятора температуры.

Необходимое давление на материал создается с помощью поршня с грузом, вместе составляющим весом 2,16 кг. Конструкция выдавливающего устройства позволяет работать на приборе при постоянной подвеске груза, что облегчает проведение эксперимента.

Одним из реологических свойств можно отнести вязкостные свойства. Оценка вязкостных свойств проводится по перерасчету показателя текучести расплава (ПТР).

Определение физико-механических свойств

Исследования образцов полимерных материалов проводили на универсальной испытательной машине с фиксацией разрушающего напряжения и относительного удлинения при разрыве, оснащенной компьютерным интерфейсом. Скорость растяжения материалов составляла 10 мм/сек. Образцы в виде стренг применялись для проведения испытания. У отобранных образцов из ПЭ/ПП/СЭП разных соотношений и всех циклов были без каких-либо дефектов, края стренг были ровными и гладкими.

Определение плотности пикнометрическим методом

Данный метод заключается в определении плотности образцов при помощи ареометра в момент перехода образца во взвешенное состояние. Рабочей жидкостью является раствор дистиллированной воды и этилового спирта.

Анализ данных

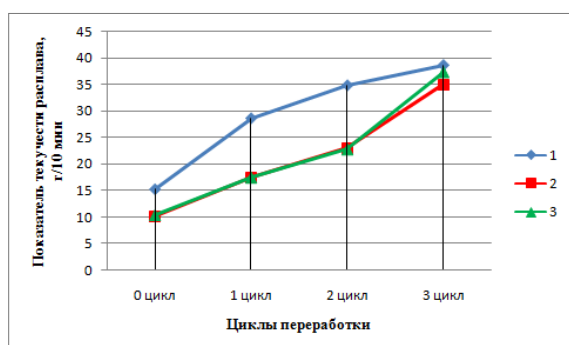
Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы IBM SPSS Statistics Ver. 20 (SPSS Inc. США).

Результаты

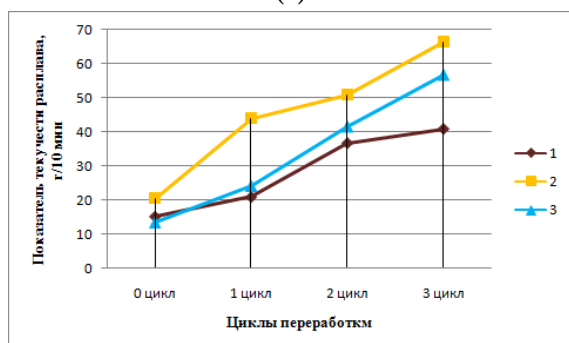
На первом этапе определяли плотность полимерных композиций при их многократной переработке пикнометрическим методом.

На втором этапе производили оценку реологических свойств материалов, она проводилась по методу капиллярной вискозиметрии. Оценкой реологических свойств являлся показатель текучести расплава (ПТР). Затем производили расчет эффективной вязкости полимеров.

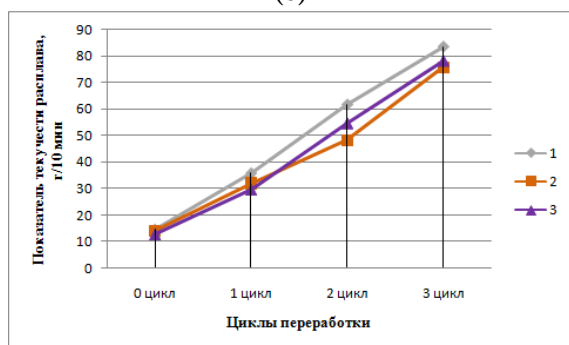
На рисунке 1 представлены результаты показателя текучести расплава полиолефиновых смесей на основе ПЭ:ПП в соотношении 70:30 (рисунок 1, а), 50:50 (рисунок 1, б) и 30:70 (рисунок 1, в), модифицированных сополимером этилена с пропиленом в количестве от 0 до 10%.



(а)



(б)



(в)

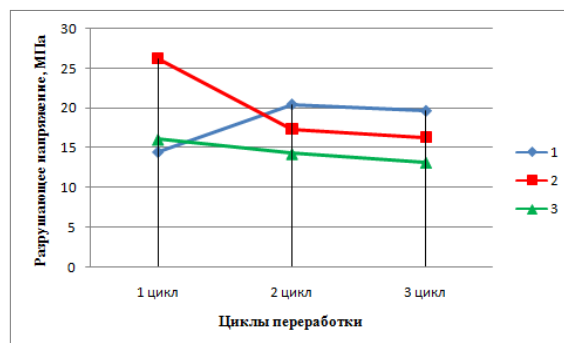
Рисунок 1. Зависимость показателя текучести расплава от количества циклов переработки

Соотношение компонентов композиции: ПЭ:ПП:СЭП

а - №1 – 70:30:0; №2 – 68,5:28,5:3; №3 – 65:25:10; б - №1 – 50:50:0; №2 – 48,5:48,5:3; №3 – 45:45:10; в - №1 – 30:70:0; №2 – 28,5:68,5:3; №3 – 25:65:10.

На третьем этапе были проведены физико-механические исследования.

Результаты испытаний по определению деформационно-прочностных характеристик представлены на рисунках полимерных композиций на основе ПЭ:ПП в соотношении 70:30 (рисунок 2), 50:50 (рисунок 3) и 30:70 (рисунок 4), модифицированных сополимером этилена с пропиленом в количестве от 0 до 10%.



(а)

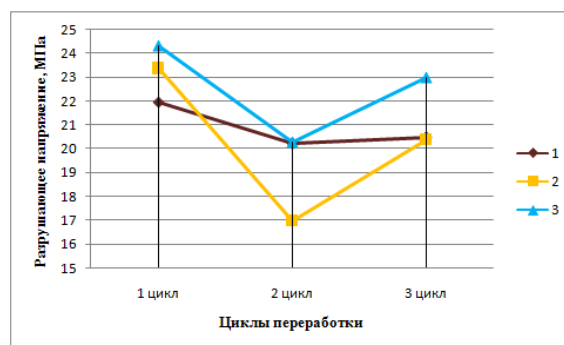


(б)

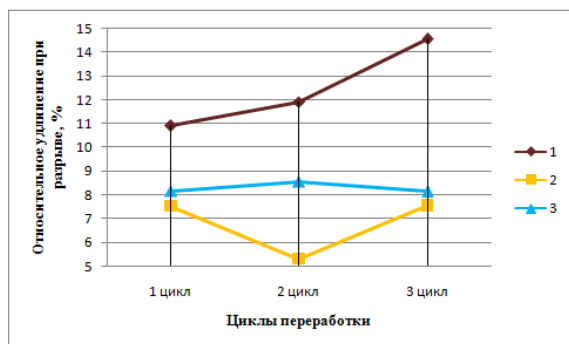
Рисунок 2. Зависимость физико-механических свойств от количества циклов переработки (а – разрушающее напряжение; б – относительное удлинение при разрыве):

Соотношение компонентов композиции: ПЭ:ПП:СЭП

№1 – 70:30:0; №2 – 68,5:28,5:3; №3 – 65:25:10.



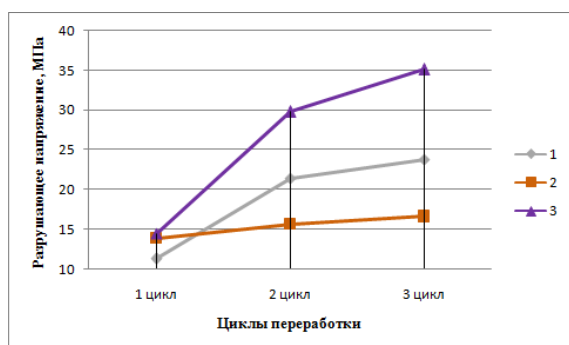
(а)



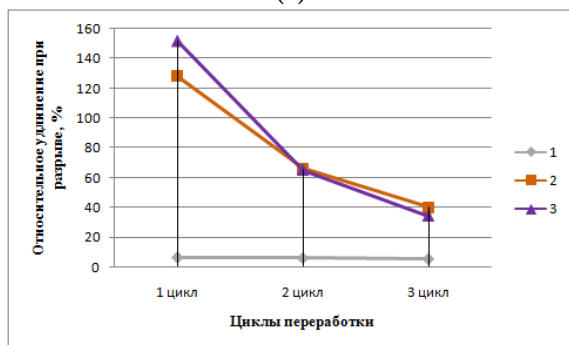
(б)

Рисунок 3. Зависимость физико-механических свойств от количества циклов переработки (а – разрушающее напряжение; б – относительное удлинение при разрыве):

Соотношение компонентов композиции: ПЭ:ПП:СЭП
 №1 – 50:50:0; №2 – 48,5:48,5:3; №3 – 45:45:10.



(а)



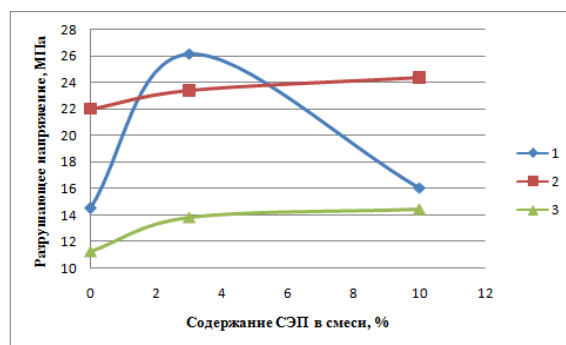
(б)

Рисунок 4. Зависимость физико-механических свойств от количества циклов переработки (а – разрушающее напряжение; б – относительное удлинение при разрыве):

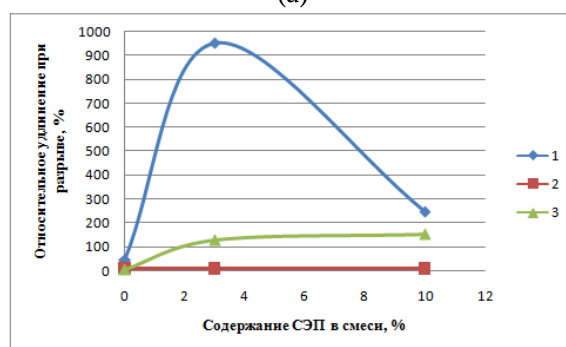
Соотношение компонентов композиции: ПЭ:ПП:СЭП
 №1 – 30:70:0; №2 – 28,5:68,5:3; №3 – 25:65:10.

На рисунке 5 представлены зависимости разрушающего напряжения (рисунок 5 (а)) и относительного удлинения при разрыве (рисунок 5 (б)) от содержания сополимера этилена с пропиленом

в полиолефиновой смеси после первого цикла переработки.



(а)

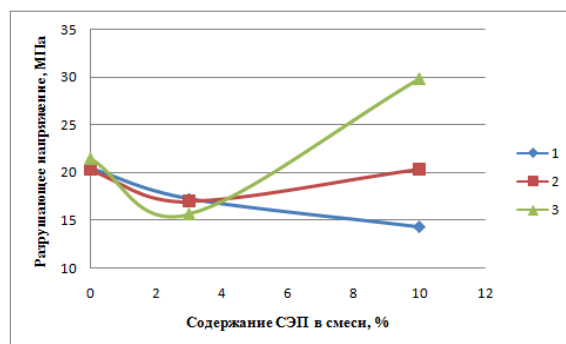


(б)

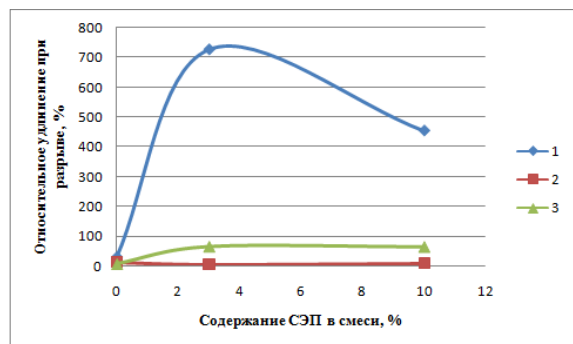
Рисунок 5. Зависимость деформационно-прочностных характеристик полимерных композиций от содержания сополимера в полиолефиновой смеси после первого цикла переработки (а – разрушающее напряжение; б – относительное удлинение при разрыве):

Соотношение компонентов ПЭ-ПП композиций:
 №1 – 70:30; №2 – 50:50; №3 – 30:70.

На рисунке 6 представлены зависимости разрушающего напряжения (рисунок 6 (а)) и относительного удлинения при разрыве (рисунок 6 (б)) от содержания сополимера этилена с пропиленом



(а)



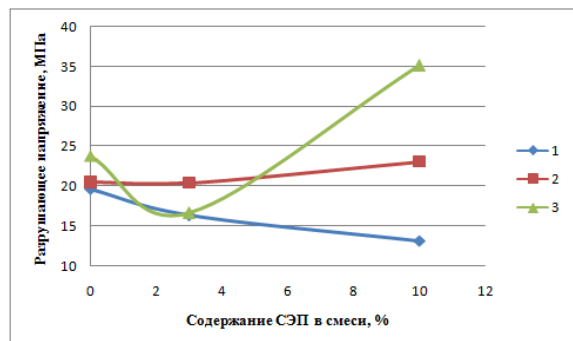
(б)

Рисунок 6. Зависимость деформационно-прочностных характеристик полимерных композиций от содержания сополимера в полиолефиновой смеси после двух циклов переработки (а – разрушающее напряжение; б – относительное удлинение при разрыве):

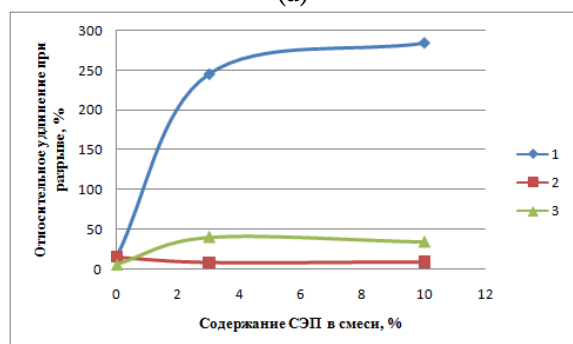
Соотношение компонентов ПЭ-ПП композиций:

№1 – 70:30; №2 – 50:50; №3 – 30:70.

На рисунке 7 представлены зависимости разрушающего напряжения (рисунок 7 (а)) и относительного удлинения при разрыве (рисунок 7 (б)) от содержания сополимера этилена с пропиленом в полиолефиновой смеси после трех циклов переработки.



(а)



(б)

Рисунок 7. Зависимость деформационно-прочностных характеристик полимерных композиций от содержания сополимера в полиолефиновой смеси после трех циклов переработки (а – разрушающее

напряжение; б – относительное удлинение при разрыве):

Соотношение компонентов ПЭ-ПП композиций:

№1 – 70:30; №2 – 50:50; №3 – 30:70.

Обсуждение полученных результатов

Из полученных результатов первого этапа прослеживается уменьшение плотности для всех полиолефиновых композиций, за исключением для контрольного образца ПЭ:ПП 50:50 без сополимера.

На основании проведенных реологических исследований можно увидеть, что многократная переработка полиолефиновых композиций приводит к резкому увеличению показателю текучести расплава. Особенно сильно данный процесс проявляется у композиций с большим содержанием ПП 30 к 70 %. Полученные данные свидетельствуют о протекании процессов деструкции в полимерных смесях более интенсивно по сравнению с композициями содержащих меньшее количество полипропилена. В связи воздействия температуры, приводящей к деструкции полимерных композиций, происходит разрыв химических связей и уменьшение молекулярной массы полимеров. При рассмотрении полученных результатов можно отметить, что при введении в смеси СЭП наблюдается уменьшение ПТР по сравнению с образцами, полученными без добавления сополимера этилена с пропиленом, за исключением композиций ПЭ:ПП в соотношении 50:50. Высокое значение ПТР указывает на низкое значение вязкости расплава полимерной композиции.

Перерасчет показал, что эффективная вязкость полиолефиновых композиций с увеличением количества цикла переработки уменьшается в 1,5-2 раза по сравнению с начальными значениями.

Из полученных данных по третьему этапу по исследованию деформационно-прочностных характеристик, видно, что разрушающее напряжение в полимерной композиции на основе ПЭ и ПП в соотношении 70:30 соответственно при введении сополимера этилена с пропиленом как 3 %, так 10 % уменьшается от цикла к циклу переработки, без введения сополимера в смесь данный показатель на 2 цикле увеличивается, затем снижается. В композициях в соотношении 50 к 50 % для образцов как при добавлении СЭП, так и без него наблюдается уменьшение разрушающего напряжения на втором цикле и увеличение на третьем цикле переработки, причем большее значение данного показателя наблюдается в полимерных смесях при

введении 10% сополимера (рисунок 3 кривая 3). В полиолефиновых композициях в соотношении ПЭ 30% и ПП 70% от многократной переработки разрушающее напряжение увеличивается, причем наибольшие значения данного показателя можно увидеть в композициях ПЭ:ПП:СЭП в соотношении 25:65:10 (рисунок 4 кривая 3).

Проанализировав результаты исследования, можно отметить, что относительное удлинение при разрыве в полимерных композициях на основе ПЭ и ПП от цикла к циклу переработки уменьшается, исключение составляют смеси ПЭ:ПП:СЭП в соотношении 65:25:10, 50:50:0, в этих случаях данный показатель увеличивается.

Проанализировав данные зависимости разрушающего напряжения и относительного удлинения при разрыве от содержания сополимера этилена с пропиленом в полиолефиновой смеси после нескольких циклов переработки, можно сказать, что на физико-механические характеристики введение сополимера в полимерные композиции в разном соотношении ведет себя не однозначно. На первом цикле переработки полимерных композиций в соотношении ПЭ:ПП 50:50 и 30:70 при введении сополимера от 0 до 10% наблюдается увеличение разрушающего напряжения, а в смесях в соотношении 70 к 30% при добавлении СЭП 0-3% сильно возрастает данный показатель с 14 до 26,5 МПа, при 3-10% сополимера резко снижается разрушающее напряжение. В смесях в соотношении ПЭ:ПП 70:30 увеличение количества СЭП приводит к уменьшению показателя разрушающего напряжения как на втором цикле переработки, так и на третьем (кривые 1 рисунки 6 и 7). Для смесей ПЭ:ПП 50:50 – на третьем цикле переработки возрастает показатель, а в композициях ПЭ к ПП 30% к 70% – при добавлении от 0 до 3% сополимера данный показатель уменьшается, а при введении СЭП от 3 до 10% – увеличивается (кривые 3 рисунки 7).

При рассмотрении относительного удлинения при разрыве на первом цикле переработки в композициях, где ПЭ 30% и ПП 70%, при введении сополимера показатель увеличивается, в смесях в соотношении 50:50 – удлинение уменьшается, а при добавлении СЭП от 0 до 3% в композициях ПЭ:ПП (70:30) – возрастает резко примерно в 100 раз, затем при введении с 3 до 10% сополимера – резко уменьшается. Относительное удлинение при разрыве для полимерных композиций ПЭ:ПП 70:30 на втором цикле переработки при добавлении сополимера от 0 до 3% увеличивается, при введении от 3 до 10% уменьшается (кривая 1 рисунок 6), а на третьем цикле переработки при введении сополи-

мера этилена с пропиленом в смесь в количестве от 0 до 10% показатель увеличивается (кривая 1 рисунок 7). Для полимерных смесей ПЭ:ПП 50:50 введение СЭП уменьшает относительное удлинение при разрыве. Для композиции в соотношении 30% к 70% (ПЭ:ПП) при введении СЭП от 0 до 3% возрастает данный показатель, а при добавлении от 3 до 10% – практически не изменяется.

Таким образом, для композиций в большем содержании ПЭ 70% введение СЭП приводит к увеличению относительного удлинения при разрыве до значений, приближающихся к первичным полимерам. При этом в полимерных композициях в составе ПЭ:ПП 50:50 и 30 к 70 введение СЭП в количестве 10% приводит к резкому увеличению прочностных характеристик – разрушающему напряжению.

Таким образом, можно отметить, что введение сополимера этилена с пропиленом в полимерные смеси улучшают физико-механические характеристики, по сравнению полиолефиновых композиций без СЭП.

При введении 10% сополимера в полимерных композициях ПЭ:ПП 50:50 и 30:70 наблюдается увеличение разрушающего напряжения.

В работах (Казале, 1983; Симонеску, 1970; Акутин, 1967) приведены исследования с введением сополимера этилена с пропиленом в полимерные композиции. Однако данные указаны для одного состава композиций.

В результате проведенных исследований, можно рекомендовать для получения листов и для последующего термоформования лотков полимерную композицию в составе ПЭ 70% и ПП 30%, модифицированную 3% СЭП. Для получения соэкструзионной пленки целесообразно использовать композиции в соотношении ПЭ:ПП:СЭП 45:45:10 и 25:65:10 соответственно.

В результате проведенных исследований можно предложить две технологии переработки отходов полимерной упаковки без сортировки.

Первый способ включает в себя: отходы упаковки проходят стадии измельчения, мойки, сушки, в смесь отходов добавляют агент совместимости, все это загружается в экструдер, на выходе из головки получаем либо листы толщиной от 150 микрон, либо пленки толщиной 100 микрон. В результате получается вторичное полимерное сырье, из которого можно получать упаковку технического назначения (тару, пленки для мульчирования) и

предметы бытового использования (например, ограждения, садовые предметы, паллеты).

Другим способом можно рекомендовать исследуемые полиолефиновые смеси для получения упаковочных материалов для контакта с пищевыми продуктами. Однако, для того чтобы использовать такие упаковочные материалы для продуктов питания, необходимо использовать технологию со-

экструзии с получением многослойных полимерных материалов. Данная технология представляет собой, где внешний и внутренний, контактирующий с пищевыми продуктами, слои изготавливаются из первичных полимеров, которые не содержат в себе полимерные отходы, а внутренний слой состоит из смеси переработанных отходов на основе ПЭ и ПП, модифицированных сополимером этилена с пропиленом (рисунок 8).

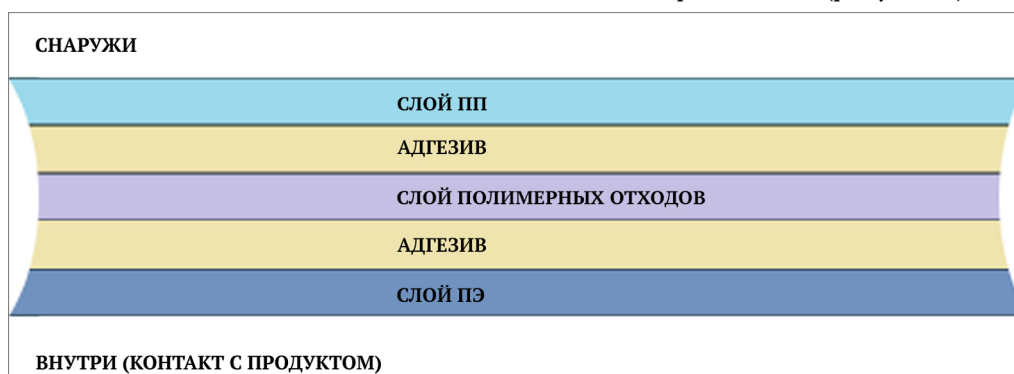


Рисунок 8. Многослойный полимерный материал типа «сэндвич-упаковка»

Метод соэкструзии заключается в переработке в одном экструдере слоя первичного ПЭ, в другом – слоя первичного ПП, и в третьем экструдере – смесь отходов в составе ПЭ и ПП, модифицированного сополимером этилена с пропиленом, из данных шприц-машин далее материалы попадают в соэкструзионную головку плоскощелевой конструкции. Полимерные материалы поступают в загрузочные бункеры в шприц-машины, расплавляются и выдавливаются в виде пленки. Такая технология направлена на получение многослойных полимерных материалов типа «сэндвич-упаковка» с использованием отходов пластика, что является актуальным направлением при рециклинге упаковочных материалов.

Заключение

Поставленные нами задачи были выполнены в ходе работы. На основании проведенных исследований по изучению влияния сополимера этилена с пропиленом на свойства полиолефиновых композиций можно сделать выводы:

- в полиолефиновых смесях на основе ПП и ПЭ в соотношении 30:70 приводит к уменьшению разрушающего напряжения с добавлением большего количества сополимера и увеличению относительного удлинения при разрыве, причем максимальная точка наблюдается при концентрации введения сополимера этилена с пропиленом в количестве 3%;
- в смесях, где ПП 70% и ПЭ 30%, наблюдается

увеличение разрушающего напряжения и относительного удлинения при разрыве по сравнению с полимерными композициями без добавления СЭПа;

- многократная переработка полимерных композиций приводит к резкому увеличению ПТР, что связано с деструкционными процессами. Особенно сильно данный процесс проявляется у композиций с большим содержанием ПП в смеси ПЭ к ПП 30 к 70%;
- в связи воздействия температуры, приводящей к деструкции полимерных композиций, происходит разрыв химических связей и уменьшение молекулярной массы полимеров;
- проведя ряд исследований можно рекомендовать для получения листов и для последующего термоформования лотков полимерную композицию в составе ПЭ 70% и ПП 30%, модифицированную 3% СЭП. Для получения соэкструзионной пленки целесообразно использовать композиции в соотношении ПЭ:ПП:СЭП 45:45:10 и 25:65:10 соответственно;
- предложена технология получения многослойных упаковочных материалов с использованием отходов упаковки в среднем слое для контакта с пищевыми продуктами;
- предложена технология переработки полиолефиновых смесей различной химической природы без предварительной сортировки, с получением упаковки технического назначения и предметов бытового использования. Данная технология позволяет переработать полимерные материалы разной химической природы,

что может создать новую конкурентоспособную продукцию на основе смешанных полимерных отходов, а также снизит нагрузку на окружающую среду.

Литература

- Акутин, М. С., & Артеменко, Б. Н. (1967). Синтез, модификация и переработка полиолефинов. Издательство Азербайджанского Университета.
- Ананьев, В. В., Губанова, М. И., Кирш, И. А., & Семенов, Г. В. (2008). Модификация полиэтилена, инициированная ультразвуком. *Пластические массы*, 6, 7-8.
- Ананьев, В. В., Губанова, М. И., Кирш, И. А., Семенов, Г. В., & Хмелевский, Г. К. (2006). Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов. МГУПБ.
- Беспалов, Ю. А., & Коноваленко, Н. Г. (1981). Многокомпонентные системы на основе полимеров. Химия.
- Богданова, А. С. (2014). Полимеры для упаковки (Часть I). *Новые химические технологии*, 6, 4-7.
- Дикун, А. В., Шанчук, А. Н., Альховик, М. В., & Касперович, О. М. (2017). Разработка полимерного композиционного материала на основе несмешиваемых ПУ, 2. БГТУ.
- Зелке, С. Е. М., Кутлер, Д., & Хернандес Р. (2011). *Пластиковая упаковка: производство, применение, свойства*. Профессия.
- Казале, А., & Порте, Р. (1983). *Реакции полимеров под действием напряжений*. Химия.
- Кербер, М. Л., Головкин, Г. С., & Горбаткина, Ю. А. (2014). *Полимерные композиционные материалы. Структура. Свойства. Технологии*. Профессия.
- Кирш, И.А. (2016). Установление закономерностей влияния ультразвукового поля на физико-химические свойства и структуру расплавов полимеров при их вторичной переработке [Докторская диссертация, Университет Иваново]. Иваново, Россия.
- Кирш, И. А., Чалых, Т. И., Ананьев, В. В., & Заиков, Г. Е. (2015). Исследование влияние ультразвука на реологические свойства полимеров различной химической природы для создания нового способа повторной переработки полимерных композиций. *Вестник казанского технологического университета*, 18, 182-186.
- Кирш, И. А., Чалых, Т. И., Ананьев, В. В., Согрина, Д. А., & Помогова, Д. А. (2014). Изучение влияния ультразвуковой обработки на реологические свойства полимеров при их многократной переработке. *Пластические массы*, 11-12, 45-48.
- Кирш, И.А., Чалых, Т.И., Чалых, А.Е., Алиев, А.Д., & Матвеев, В.В. (2016). Структурно-морфологические изменения композиций на основе полиэтилена и полиамида при воздействии ультразвука на расплавы полимерных смесей. *Пластические массы*, 1-2, 45-49.
- ЛаМантия, Ф. (2006). *Вторичная переработка пластмасс*. Профессия.
- Любешкина, Е. Г. (2012). Вторичная переработка полимерной упаковки в России и за рубежом. *Полимерные материалы*, 3, 4-17.
- Мещанкина, М. Ю., Кузнецова, Я. А., Щербина, М. А., & Чвалун, С. Н. (2016). Биоразлагаемые смеси, полученные реакционным смешением полилактида и полиамида-6. *Высокомолекулярные соединения*, 58, 167-179.
- Мжачих, Е. И., Иванова В. Н., Сухарева Л. А., Яковлев, В. В., & Яковлев В. С. (2009). *Модификация полимеров в производстве тароупаковочных материалов*. ДеЛипринт.
- Мэнсон, Дж., & Сперлинг Л. (1979). *Полимерные смеси и композиты*. Химия.
- Назаров, В. Г. (2008). *Поверхностная модификация полимеров*. МГУП.
- Ношей, А., & Мак-Грат, Дж. (1980). *Блок-сополимеры*. Мир.
- Пищулин, И. (2013). *Рециклинг сложных пленок*. *Пластикс*, 7, 38-44.
- Пол, Д. Р., & Бакнелл, К. Б. (2009). *Полимерные смеси*, 1. Научные основы и технологии.
- Овчиникова, Г. П., & Артеменко, С. Е. (2000). *Рециклинг вторичных полимеров*. Саратовский государственный технический университет.
- Рудольф, Н., Кизель, Р., & Аумнате, Ш. (2018). *Рециклинг пластмасс. Экономика, экология и технологии переработки пластмассовых отходов*. Профессия.
- Симонеску, К., & Опра, К. (1970). *Механохимия высокомолекулярных соединений*. Мир.
- Сирота, А. Г. (1974). *Модификация структуры и свойств полиолефинов*. Химия.
- Суворова, А. И., & Тюткова, И. С. (2008). *Вторичная переработка полимеров и создание экологически чистых полимерных материалов*. Уральский государственный университет им. А. М. Горького.
- Шайерс, Дж. (2012). *Рециклинг пластмасс: наука, технологии, практика*. HOT.
- Adeniyi, A, Agboola, O, Sadiku, E.R., Durowoju, M.O., Olubambi, P.A., Babul Reddy, A., Ibrahim, I. D., Kupolati, W.K. (2016). Thermoplastic-Thermoset Nanostructured Polymer Blends. In *Design and Applications of Nanostructured Polymer Blends and Nanocomposite Systems. Micro and Nano Technologies* (pp. 15-38). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39408-6.00002-9>
- Biron, M. (2017). *Recycling: The First Source of Renewable Plastics*. In *Industrial Applications of Renewable Plastics. Environmental, Technological,*

- and Economic Advances* (pp. 67-114). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-48065-9.00003-0>
- Brow, H. R. (1989). Effect of a diblock copolymer on the adhesion between incompatible polymers. *Macromolecules*, 22, 2859–2860
- Creton, C., Kramer, E.J., & Hadziioannou, G. (1991). Critical molecular weight for block copolymer reinforcement of interfaces in a two-phase polymer blend. *Macromolecules*, 24, 1846–1853
- Fayt, R., Jerome, R., & Teyssie, Ph. (1987). Characterization and control of interfaces in emulsified incompatible polymer blends. *Polymer engineering and science*, 27, 328–334
- Fayt, R., Jerome, R., & Teyssie, Ph. (1981). Molecular design of multicomponent polymer systems. II. Emulsifying effect of a poly(hydrogenated butadiene-*b*-styrene) copolymer in high-density polyethylene/polystyrene blends. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, 19, 1269–1272
- Kakhramanov, N. T., Gasimova, G. Sh., Pesetskiy, S. S., Kakhramanly, J. N., Gurbanova, R. V., Hajiyeva R. Sh., & Suleymanova E. I. (2019). Physical and mechanical properties of nanocomposites based on block copolymer propylene with ethylene and graphite. *Kimya problemleri*, 17, 72–80
- Maris, J., Bourdon, S., Brossard, J-M., Cauret, L., Fontaine, L., & Montembault, V. (2018). Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes. *Polymer Degradation and Stability*, 147, 245–266 <https://doi.org/10.1016/j.polyimdeggradstab.2017.11.001>
- Muthuraj, R., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2015). Studies on mechanical, thermal, and morphological characteristics of biocomposites from biodegradable polymer blends and natural fibers. In *Biocomposites. Design and Mechanical Performance* (pp. 93–140). <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-373-7.00014-7>
- Xu, Y., Loi, J., Delgado, P., Topolkaraev, V., McEneaney, R. J., Macosko, C. W., & Hillmyer, M. A. (2015). Reactive Compatibilization of Polylactide/Polypropylene Blends. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54, 6108–6114
- Wang, H., Dong, W., & Li, Y. (2015). Compatibilization of Immiscible Polymer Blends Using in Situ Formed Janus Nanomicelles by Reactive Blending. *ACS Macro Letters*, 12, 1398–1403. <https://doi.org/10.1021/acsmacrolett.5b00763>

Modification of Polymer Mixtures with Copolymers to Obtain Polymer Compositions with Improved Deformation and Strength Characteristics

Izabella S. Tveritnikova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: iza-1995@bk.ru*

Olga A. Bannikova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: bannikovaoa@mgupp.ru*

Olga V. Beznaeva

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: olgabeznaeva@mgupp.ru*

Valentina A. Romanova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: bwal1307@mgupp.ru*

Darya M. Zagrebina

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: zagrebinadm@mgupp.ru*

Tamara A. Kondratova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: flash_toma@mail.ru*

Recycling of multi-layer polymer materials is difficult, due to the complexity of sorting and separation of mixed waste, so most often they end up in landfills, polygons or incinerated, which leads to environmental and economic problems in the country. Currently, there are ways to process packaging waste with the exception of the sorting stage using chemical and physical modification. The article is devoted to the process of modification of polyolefin mixtures based on polyethylene and polypropylene, as well as a comprehensive study of the obtained secondary raw materials, which is aimed at increasing the technological compatibility of polymer materials for the development of recycling technology with the prospect of returning polymer compositions to the production cycle. The following tasks were set: to conduct a comprehensive study of polymer compositions based on polyolefins, which are modified by a copolymer of ethylene with propylene in a different ratio of components; to study the influence of the modifier on the physical and mechanical properties of polymer mixtures; to study the influence of rheological properties of polymer compositions modified by a copolymer; to propose a technology for recycling secondary polyolefin compositions in the production cycle. The objects of research were polyethylene, polypropylene and ethylene copolymer with propylene as a binder, in different proportions of components. Samples were obtained on a laboratory single-screw extruder with multiple processing. Scientific research was carried out using the method of capillary viscometry, pycnometric method for determining rheological properties, and uniaxial stretching method for studying the physical and mechanical properties of polymer compositions. It was found that the introduction of a modifier (ethylene copolymer

How to Cite

Tveritnikova, I. S., Bannikova, O. A., Beznaeva, O. V., Romanova, V. A., Zagrebina, D. M., & Kondratova, T. A. (2019). Modification of Polymer Mixtures with Copolymers to Obtain Polymer Compositions with Improved Deformation and Strength Characteristics. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s251>

with propylene) leads to an increase in the elongation at break in polymer compositions in the ratio of 70 % polyethylene to 30 % polypropylene and the breaking stress for compositions based on polyethylene and polypropylene in the ratio of 50:50 and 30: 70, respectively. As a result of the research, a technology for obtaining multi-layer packaging materials using packaging waste in the middle layer for contact with food products is proposed; a technology for processing polyolefin mixtures of various chemical nature is proposed without pre-sorting, to obtain packaging for technical purposes and household items.

Keywords: polymers, copolymer, polymer modification, multilayer films, co-extrusion, deformation and strength characteristics

References

- Akutin, M. S., & Artemenko, B. N. (1967). *Sintez, modifikaciya i pererabotka poliolefinov* [Synthesis, modification and processing of polyolefins]. Izdatel'stvo Azerbajdzhanskogo Universiteta.
- Ananyev, V. V., Gubanova, M. I., Kirsh, I. A., & Semenov, G. V. (2008). Modification of polyethylene initiated by ultrasound. *Plasticheskiye massy* [Plastic Masses], 6, 7-8.
- Ananyev, V. V., Gubanova, M. I., Kirsh, I. A., Semenov, G. V., & Khmelevsky, G. K. (2006). *Utilizatsiya i vtorichnaya pererabotka polimernykh materialov* [Recycling and recycling of polymer materials]. MSUPB.
- Bespalov, Yu. A., & Konovalenko, N. G. (1981). *Mnogokomponentnye sistemy na osnove polimerov* [Multicomponent systems based on polymers]. Himiya.
- Bogdanova, A. S. (2014). Polymers for packaging (Part I). *Novyye khimicheskiye tekhnologii* [New chemical technologies], 6, 4-7.
- Dikun, A. V., Shanchuk, A. N., Alkhovik, M. V., & Kasperovich, O. M. (2017). *Razrabotka polimernogo kompozitsionnogo materiala na osnove nesmeshivaemykh PU* [Development of a polymer composite material based on immiscible PUs], 2. BGUTU.
- Zelke, S. E. M., Cutler, D., & Hernandez, R. (2011). *Plastikovaya upakovka: proizvodstvo, primeneniye, svoystva* [Plastic packaging: production, application, properties]. Professiya.
- Casale, A., & Porte, R. (1983). *Reakcii polimerov pod deystviem napryazheniy* [Polymer stress reactions]. Himiya.
- Kerber, M. L., Golovkin, G. S., & Gorbatkina, Yu. A. (2014). *Polimernye kompozitsionnye materialy. Struktura. Svoystva. Tekhnologii* [Polymer composite materials. Structure. Properties. Technologies]. Professiya.
- Kirsh, I. A. (2016). *Ustanovleniye zakonornostey vliyaniya ul'trazvukovogo polya na fiziko-khimicheskiye svoystva i strukturu rasplavov polimerov pri ikh vtorichnoy pererabotke* [Establishing the regularities of the influence of the ultrasonic field on the physical and chemical properties and structure of polymer melts during their recycling] [Doctoral dissertation, University of Ivanovo]. Ivanovo, Russia.
- Kirsh, I. A., Chalykh, T. I., Ananyev, V. V., & Zaikov, G. E. (2015). Investigation of the influence of ultrasound on the rheological properties of polymers of various chemical nature to create a new method for recycling polymer compositions. *Vestnik kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 18, 182-186.
- Kirsh, I. A., Chalykh, T. I., Ananyev, V. V., Sogrina, D. A., & Pomogova, D. A. (2014). Study of the influence of ultrasonic processing on the rheological properties of polymers during their repeated processing. *Plasticheskiye massy* [Plastic Masses], 11-12, 45-48.
- Kirsh, I. A., Chalykh, T. I., Chalykh, A. E., Aliev, A. D., & Matveev, V. V. (2016). Structural and morphological changes in compositions based on polyethylene and polyamide under the influence of ultrasound on melts of polymer mixtures. *Plasticheskiye massy* [Plastic Masses], 1-2, 45-49.
- LaMantia, F. (2006). *Vtorichnaya pererabotka plastmass* [The recycling of plastics]. Professiya.
- Lyubushkin, E. G. (2012). Recycling of polymer packaging in Russia and abroad. *Polimernyye materialy* [Polymer materials], 3, 4-17.
- Meshchankin, M. Yu., Kuznetsova, Ya. A., Scherbina, M. A., & Chvalun, S. N. (2016). Biodegradable mixtures obtained by the reaction mixture of polylactide and polyamide-6. *Vysokomolekulyarnyye soyedineniya* [High molecular weight compounds], 58, 167-179.
- Mzhachikh, E. I., Ivanova V. N., Sukhareva L. A., Yakovlev, V. V., & Yakovlev V. S. (2009). *Modifikatsiya polimerov v proizvodstve tarupakovykh materialov* [Modification of polymers in the production of packaging materials]. DeLiprint.
- Manson, J., & Sperling, L. (1979). *Polimernye smesi i kompozity* [Polymer mixtures and composites]. Himiya.
- Nazarov, V. G. (2008). *Poverhnostnaya modifikatsiya polimerov* [Surface modification of polymers]. MGUP.
- Noshei, A., & McGrath, J. (1980). *Blok-sopolimery*

- [Block copolymers]. Mir.
- Pishchulin, I. (2013). Recycling of complex films. *Plastiks* [Plastics], 7, 38-44.
- Paul, D. R., & Bucknell, K. B. (2009). *Polimernye smesi* [Polymer blend], 1. Nauchnye osnovy i tekhnologii.
- Ovchinikova, G. P., & Artemenko, S. E. (2000). *Recikling vtorichnyh polimerov* [Recycling of secondary polymers]. Saratovskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet.
- Rudolph, N., Kiesel, R., & Aumnate, S. (2018). *Recikling plastmass. Ekonomika, ekologiya i tekhnologii pererabotki plastmassovyh othodov* [Recycling of plastics. Economics, ecology and technologies of plastic waste processing]. Professiya.
- Simonescu, K., & Oprea, K. (1970). *Mekhanohimiya vysokomolekulyarnykh soedinenij* [Mechanochemistry of macromolecular compounds]. Mir
- Sirota, A. G. (1974). *Modifikaciya struktury i svojstv poliolefinov* [Modification of the structure and properties of polyolefins]. Himiya.
- Suvorova, A. I., & Tyutkova, I. S. (2008). *Vtorichnaya pererabotka polimerov i sozdanie ekologicheski chistykh polimernykh materialov* [Recycling of polymers and creating environmentally friendly polymer materials]. Ural'skij gosudarstvennyj universitet im. A. M. Gor'kogo.
- Shayers, J. (2012). *Recikling plastmass: nauka, tekhnologii, praktika* [Recycling of plastics: science, technology, practice]. NOT.
- Adeniyi, A, Agboola, O, Sadiku, E.R., Durowoju, M.O., Olubambi, P.A., Babul Reddy, A., Ibrahim, I. D., Kupolati, W.K. (2016). Thermoplastic-Thermoset Nanostructured Polymer Blends. In *Design and Applications of Nanostructured Polymer Blends and Nanocomposite Systems. Micro and Nano Technologies* (pp. 15-38). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-39408-6.00002-9>
- Biron, M. (2017). *Recycling: The First Source of Renewable Plastics*. In *Industrial Applications of Renewable Plastics. Environmental, Technological, and Economic Advances* (pp. 67-114). <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-48065-9.00003-0>
- Brow, H. R. (1989). Effect of a diblock copolymer on the adhesion between incompatible polymers. *Macromolecules*, 22, 2859-2860
- Creton, C., Kramer, E.J., & Hadziioannou, G. (1991). Critical molecular weight for block copolymer reinforcement of interfaces in a two-phase polymer blend. *Macromolecules*, 24, 1846-1853
- Fayt, R., Jerome, R., & Teyssie, Ph. (1987). Characterization and control of interfaces in emulsified incompatible polymer blends. *Polymer engineering and science*, 27, 328-334
- Fayt, R., Jerome, R., & Teyssie, Ph. (1981). Molecular design of multicomponent polymer systems. II. Emulsifying effect of a poly(hydrogenated butadiene-*b*-styrene) copolymer in high-density polyethylene/polystyrene blends. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physic*, 19, 1269-1272
- Kakhramanov, N. T., Gasimova, G. Sh., Pesetskiy, S. S., Kakhramanly, J. N., Gurbanova, R. V., Hajiyeva R. Sh., & Suleymanova E. I. (2019). Physical and mechanical properties of nanocomposites based on block copolymer propylene with ethylene and graphite. *Kimya problemleri*, 17, 72-80
- Maris, J., Bourdon, S., Brossard, J-M., Cauret, L., Fontaine, L., & Montembault, V. (2018). Mechanical recycling: Compatibilization of mixed thermoplastic wastes. *Polymer Degradation and Stability*, 147, 245-266 <https://doi.org/10.1016/j.polyimdegradstab.2017.11.001>
- Muthuraj, R., Misra, M., & Mohanty, A. K. (2015). Studies on mechanical, thermal, and morphological characteristics of biocomposites from biodegradable polymer blends and natural fibers. In *Biocomposites. Design and Mechanical Performance* (pp. 93-140). <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-373-7.00014-7>
- Xu, Y., Loi, J., Delgado, P., Topolkaraev, V., McEneaney, R. J., Macosko, C. W., & Hillmyer, M. A. (2015). Reactive Compatibilization of Polylactide/Polypropylene Blends. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 54, 6108-6114
- Wang, H., Dong, W., & Li, Y. (2015). Compatibilization of Immiscible Polymer Blends Using in Situ Formed Janus Nanomicelles by Reactive Blending. *ACS Macro Letters*, 12, 1398-1403. <https://doi.org/10.1021/acsmacrolett.5b00763>

Микробиологическая безопасность меда

Куш Ирина Вячеславовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: i.kusch@mail.ru

Ваннер Наталья Эдуардовна

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной санитарии, гигиены и экологии — филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН

Адрес: 123022, город Москва, Звенигородское ш., дом 5

E-mail: vanner.natalia@gmail.com

Удавлив Дамир Исмаилович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11

E-mail: udavlievdi@mgupp.ru

Мурадова Мая Дурдымурадовна

Туркменский сельскохозяйственный университет имени С. А. Ниязова

Адрес: 744000, город Ашхабад, ул. Гёроглы, дом 62, Туркменистан

E-mail: mouradovamd@gmail.com

Проведено микробиологическое исследование пчелиного меда реализуемого на рынках Москвы в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов (бактерии рода *Salmonella*, *Shigella*, общая микробная обсемененность (КМАФАнМ), бактерии группы кишечной палочки (БГКП), плесневых грибов, осмофильных дрожжей, *S. aureus*). Дополнительно были проведены органолептические (внешний вид, аромат, вкус) и физико-химические (определение массовой доли сахарозы, фруктозы и глюкозы, гидроксиметилфурфурала, кислотности, электропроводность и т.д.) исследования для исключения фальсификации продукта. Микробиологические, органолептические и физико-химические исследования проводились в испытательной лаборатории соответствующей требованиям ГОСТ ISO/EC 17025-2019. Исследованию были представлены 221 образец меда, отобранные с 13 рынков Москвы на наличие патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. По результатам исследований в 37 образцах (16,7 %) были обнаружены *Escherichia coli*, в 18 образцах (8 %) – бактерии группы кишечной палочки (БГКП), 53 образцах (23,9 %) – *S. aureus*, КМАФАнМ – 25 (11,3 %), осмофильные дрожжи – 3 (1,3 %), несоответствие по физико-химическим показателям обнаружено в 45 (20,3 %) образцах. Рассмотрены российские и международные требования к микробиологической безопасности меда в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. Проведен анализ и сравнительная характеристика показателей и их значений.

Ключевые слова: мед, микробиологическая безопасность, международные требования, патогенные, условно-патогенные микроорганизмы

Введение

Мёд - продукт пчеловодства растительного происхождения, содержащий значительное количество полезных веществ для организма человека (углеводы, витамины, аминокислоты, минеральные вещества и прочее). При этом мёд обладает отличными вкусовыми, питательными и диетическими

свойствами, что делает данный продукт востребованным на внутреннем и внешнем продовольственном рынке многих стран мира. Пчелиный мед является одним из важных продуктов питания, а также играет большую роль в выполнении программы Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, положения которой определяются тем, что пчёлы играют активную роль как опылители сельскохозяйственных куль-

тур. Кроме того, пчеловодство дает ценные продукты питания и сырье. Продукты пчеловодства: мёд, перга (пыльца), маточное молочко, прополис, пчелиный яд, используются как диетические и лечебные средства, а воск находит применение более чем в 40 отраслях промышленности. Поэтому здоровью пчёл и ветеринарно-санитарной экспертизе мёда пчелиного и других продуктов пчеловодства придается в нашей стране особое внимание (Бутко, 2019). В Российской Федерации (РФ) к натуральному меду ветеринарно-санитарные требования установлены в Техническом Регламенте Таможенного союза (ТР ТС) 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», решение Комиссии Таможенного союза от 28 мая 2010 г. N 299 «О применении санитарных мер в Евразийском экономическом союзе», решении Комиссии Таможенного Союза от 18.06.2010 N 317 «О применении ветеринарно-санитарных мер в Евразийском экономическом союзе» и ГОСТ 19792-2017 (замена ГОСТ Р 54644-2011). В перечисленных законодательных документах натуральный мёд исследуют на органолептические (внешний вид, аромат, вкус), физико-химические показатели (определение массовой доли сахарозы, фруктозы и глюкозы, гидроксиметилфурфурала, кислотности, электропроводность и т.д.), присутствие лекарственных препаратов, пестицидов, тяжелых металлов, радионуклеидов, а информация по определению микробиологической загрязненности мёда и других продуктах пчеловодства отсутствует.

Возможно, причина в том, что существует мнение, что мёд — безопасный продукт и в нем не могут присутствовать патогенные и условно-патогенные микроорганизмы, дрожжи и плесени, из-за концентрированного раствора сахаров с высоким осмотическим давлением. Натуральный мёд не подвергается термической обработке и употребляется в пищу в сыром виде, что увеличивает возможность присутствия в нем микробиологических патогенных агентов и их продуктов распада, как и в любом другом сырье растительного или животного происхождения. Так, первичными источниками контаминации мёда могут являются пыльца, пищеварительный тракт медоносных пчел, почва, вода, воздух и нектар; вторичные - связаны с переработкой, обработкой, тарой и хранением мёда и продуктов пчеловодства.

Данная работа посвящена изучению патогенных и условно-патогенных микроорганизмов в мёде для дальнейшего изучения их. Полученные данные позволят нам в будущем минимизировать обсеменение продукта, если таковое имеется, а также узнать о санитарно-гигиенических нарушениях при работе с мёдом.

В исследованиях проведенными зарубежными учёными было установлено, что в пчелином мёде способны выживать патогенные и условно-патогенные микроорганизмы, которые не обладают репродуктивной способностью. Несмотря на временное приостановление репродуктивной функции - микроорганизмы могут быть опасны для потребителей, в особенности людей с ослабленным иммунитетом, детей и пожилых людей (Fernández, 2016).

Осмофильные дрожжи и плесневые грибы сохраняют свою способность размножению (вегетативное размножение). Рост плесневых грибов сопровождается выработкой микотоксинов являющимися вторичными метаболитами нитевидных грибов и токсичны для человека и животных. Основными продуцентами микотоксинов являются грибы рода *Aspergillus*, *Alternaria*, *Fusarium* и *Penicillium*. Наиболее часто встречаются *Aspergillus spp.* и *Penicillium spp.*, исследования на эту тему проводили в Великобритании, Италии, Бразилии и Пакистане (Silva, 2017). Несмотря на то, что мёд является неблагоприятной средой для развития микотоксинов, плесневые грибы все же могут вызывать аллергические реакции, ослабление иммунитета и астму. Наиболее опасным патогенным являются *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus terreus* и *Aspergillus niger* (Liu, 2019). В мёде из дрожжей выявляли *Debaryomyces hansenii*, *Zygosaccharomyces rouxii*, *Aureobasidium pullulans*, *Schizosaccharomyces plumbe*, *Kluyveromyces thermotolerans*, *Saccharomyces cerevisiae* и *Cryptococcus uzbekistanensis* (Hocine, 2018). Однако патогенным для человека является вид *Cryptococcus* и способны вызывать поражение центральной нервной системы (Gomes, 2010).

В Мексике, как и в России мёд является одним из популярных продуктов, однако для Мексики мёд еще является ключевым экономическим элементом обеспечивающим ей пятое место в мире, как стране-производителю и третье, как стране-экспортеру. В Мексике разработан один стандарт NMX-036-NORMEX-2006, обеспечивающий микробиологическую безопасность мёда. Согласно данному стандарту в мёде не должны присутствовать более чем в 1000 КОЕ/г условно-патогенных микроорганизмов, в том числе осмофильных дрожжей и плесневых грибов в 100 КОЕ/г (Vázquez-Quinones, 2017).

Мексика не единственная страна разработавшая документ, который обеспечивает микробиологическую безопасность мёда. Аналогичные документы обеспечивающие микробиологическую безопасность мёда разработали в Китайской Народной Республике, в арабских странах Персидского залива и в Гонконге.

В Китайской Народной Республике действует стандарт (GB 14963—2011) «Государственный стандарт безопасности продуктов питания. Мед», представлены данные с предельным содержанием микроорганизмов. Согласно данному документу в 25 граммах меда не должны быть выявлены бактерии рода *Salmonella*, *Shigella* и *St. aureus*, количество плесневых грибов и осмофильных дрожжей не более 200 колониеобразующих единиц в грамме (КОЕ/г), бактерий группы кишечной палочки (БГКП) - 10^5 , а общее количество колоний (КМАФАнМ) не превышать 1000 КОЕ/г.

В арабских государствах Персидского залива существует единый стандарт GSO 160/2015 на «Микробиологические критерии для пищевых продуктов», в котором утверждены нормативные показатели для натурального мёда и других продуктов пчеловодства. Исследования проводят на обнаружение *Clostridium botulinum*, наличие которых не допускается; определение содержания в продукте сульфит-редуцирующих анаэробных бактерий, плесневых грибов и дрожжей – не превышать 1000 КОЕ/г.

В Гонконге существуют микробиологические рекомендации для пищевых продуктов (от 2014 г), в котором мёд исследуется на наличие бактерий рода *Salmonella*, *Shigella* и *St. aureus* и не должен быть выявлен в 25 граммах продукта.

Mercado Común del Sur (MERCOSUR) - экономическое и политическое соглашение созданное в 1985 году между Аргентиной и Бразилией, впоследствии присоединившимися к ним Уругваем и Парагваем устанавливает требования к качеству пчелиного меда, в том числе и микробиологическое. Согласно требованиям соглашения (SENASA33 резолюция 870/2006) в меде не должны присутствовать бактерии рода *Salmonella*, *Shigella*, бактерии группы кишечной палочки, дрожжи и плесневые грибы не более 100 КОЕ/г. (Fernández, 2016).

Помимо того что Бразилия входит в соглашение между Аргентиной, Парагваем и Уругваем внутри страны утверждена внутренняя инструкция №62 от 23 августа 2003 года согласно которой натуральный мед исследуют на наличие *St. aureus*, бактерии рода *Salmonella*, плесневые грибы и дрожжи (Azonwade, 2018).

В Мексике было проведено 1920 исследований меда на наличие патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, в том числе дрожжей и плесеней. Из общего количества образцов было выде-

лено: факультативно аэробных микроорганизмов 17 % (327), плесневых грибов дрожжей 18,1 % (348), 2 % содержали молочно-кислые бактерии, *S. aureus* менее чем 100 КОЕ/г, бактерии рода *Salmonella* не обнаружены. Из аэробов и факультативных анаэробов выделяли такие микроорганизмы, как: *Brochothrix spp.*, *Citrobacter spp.*, *Enterobacter spp.*, *Erwinia spp.*, *Flavobacterium spp.*, *Lactobacillus spp.*, *Leuconostoc spp* (Vázquez-Quíñones, 2018).

В Турции в 2013 году провели крупное исследование на микробиологическую безопасность, в результате которого исследованию подверглись 500 образцов меда из Стамбула. Помимо микробиологического обсеменения образцов было также обнаружено и паразитологическое загрязнение: в 80 образцах (16 %) были обнаружены *Escherichia coli*, в 18 образцах (3,6 %) - бактерии группы кишечной палочки (БГКП), 67 образцах (13,4 %) - Золотистый стафилококк (*S. aureus*), 51 образец (10,2 %) дал положительный результат на *Ascosphaera apis*, 22 образца (4,4 %) - *Aspergillus flavus*, 32 образца (6,4 %) - *Aspergillus fumigatus*, 16 образцов (3,2 %) - *Paenibacillus larvae*, 29 образцов (5,8 %) *Melissococcus pluton* и 39 образцов (7,8 %) - *Nosema spp.* (Emek DÜMEN1, 2013).

Исследования проведенные в Мексике и Турции подтверждают присутствие патогенных и условно-патогенных микроорганизмов, однако результаты исследований могут быть не верны, если предмет исследования оказался не натуральным продуктом. В России мёд входит в десятку фальсифицированных продуктов. В связи с чем отобранные образцы в первую очередь исследовались на органолептические (вкус, цвет, аромат, консистенция и кристаллизация) и физико-химические (определение массовой доли сахарозы, фруктозы и глюкозы, гидроксиметилфурфурала, кислотности, электропроводность и так далее) показатели для избежания фальсификации продукта и искажении результатов исследования¹.

Следует отметить, что мед имеет большие преимущества по сравнению с другими продуктами питания, так как он считается ценнейшим лечебно-профилактическим средством. (Жунева, 2019). Например, Нидерландах изучалась общее антимикробное свойство меда в отношении патогенных и условно-патогенных микроорганизмов в организме человека, с поиском новых способов их применения (Kwakman, 2012). Аналогичное исследование проводили в США и Австралии, где сравнивали разные сорта меда и их антибактериальное дей-

¹ <https://basetop.ru/> Топ рейтинги мира «Самые подделываемые продукты питания в России» (2019)

ствие на патогенные и условно-патогенные микроорганизмы (Camreau, 2014; Anand, 2019).

В Словакии продолжили опыты по определению действующего антимикробного вещества в меде (Busekova, 2018). Группа ученых из Португалии изучала антимикробное воздействие на кишечную палочку при лечении кожных ран, и добились успеха в данном вопросе (Oliveira, 2017). Наши коллеги из Эфиопии проводили опыты с 2017 года, в которых доказывали бактерицидное воздействие меда на *Staphylococcus aureus* (Mama, 2019). В Саудовской Аравии оценивали бактерицидные свойства импортного и отечественного меда в отношении *Staphylococcus aureus* (Almasaudi, 2017).

Из небольшого обзора видно, что интерес к меду возрастает с каждым годом. Связи с чем необходимо определять не только качественный продукт по физико-химическим показателям, но также и по микробиологическим.

Материалы и методы

Лабораторные исследования проводились в испытательной лаборатории, которая соответствует международным требованиям ГОСТ ISO/EC 17025-2019.

Первым этапом работы - это проведение органолептических и физико-химических исследований. Исследования проводились согласно ГОСТ 19792-2017 «Мед натуральный. Технические условия».

В России нет нормативного документа регулирующего микробиологическую безопасность меда, связи с чем в нашей работе проводился подбор питательных сред и методов для анализа. Пчелиный мед исследовался на такие показатели как КМАФАнМ, БГКП, *E.coli*, *S.aureus*, бактерии рода *Salmonella*, *Shigella*, осмофильные дрожжи и плесени.

Первые три месяца исследования были посвящены поискам оптимальных методов, сред и температур. Сложности в исследовании наступили на этапе титрования и определения степени исследования, например при исследовании на микробиологическую чистоту, БГКП или *S.aureus* имеет большое значение.

Вставал вопрос каким раствором титровать. Для решения этой проблемы мы использовали четыре раствора: физиологический, лимоннокислый, бро-

мистый и пептонную воду. Каждый из растворов титровался и из каждого разведения параллельно в две чашки вливалось разведение и так до 6 степени, после чего заливались питательной средой.

Определение КМАФАнМ

Для определения общей микробной обсемененности мы титровали продукт затем его заливали питательной средой. Однако в нашем распоряжении было два вида среды - это МПА (мясо-пептонный агар) и КМАФАнМ-среда. Связи с чем опыты проводимые с поиском оптимального раствора для титрования мы удваивали, чтоб в параллели наблюдать рост микроорганизмов на двух средах. После того как мы залили чашки Петри с разведениями питательной средой мы медленно и равномерно перемешиваем их круговыми движениями. После застывания среды чашки вверх дном помещали в термостат. Инкубирование микроорганизмов происходило 72 часа при температуре $(30 \pm 1^\circ \text{C})$.

Определение БГКП и *Escherichia coli*

В нашем распоряжении имелось только обогатительная среда Кесслера для изучения БГКП, но в данном случае все было не так однозначно. Необходимо было правильно подобрать концентрацию и объем среды. Например, если мы исследуем молочные продукты, то используем среду Кесслера обычной концентрации, но при этом 5 мл, если же мы говорим о колбасных изделиях, то используем Кесслер нормальной концентрации объемом 10 мл, если же это мясной продукт или овощи, то мы используем Кесслера нормальной концентрации в объеме 10 мл. Помимо определения необходимой концентрации и объема существовала еще одна важная проблема - в каком разведении должен быть образец. Для определения необходимой концентрации нужно было убедиться в присутствии БГКП, поэтому первые образцы сеялись с флакона с раствором из физиологического, лимоннокислого, бромистого и пептонной воды в пробирку с обычной концентрацией 10 мл и 5 мл, двойной концентрацией (10 мл). Инкубирование образцов составляло 48 часов при температуре $(37 \pm 1^\circ \text{C})$. После чего делались пересевы на дифференциально-диагностическую среду ЭНДО - инкубирование микроорганизмов составляло 24-48 часов при температуре $(37 \pm 1^\circ \text{C})$. Далее при необходимости следовали биохимические тесты для подтверждения микроорганизмов к бактериям группы кишечной палочки, в том числе и *E.coli*.

Определение *S.aureus*

Исследование на наличие *S.aureus* вызвало аналогичные сложности. Изначально подбирали подходящий раствор для титрования и питательные среды. Предположительное присутствие коагулазоположительных стафилококков определяли на Жиолитти-Кантони бульоне и солевом бульоне - мы добавляли по 1 мл титрованного раствора с образцом в пробирку, после чего инкубировали при температуре ($37 \pm 1^\circ\text{C}$) в течение 48 часов. Затем пересев петлей на поверхность одной из дифференциальных сред: среды Байрд - Паркер, молочно-солевого агар. Инкубирование при температуре ($37 \pm 1^\circ\text{C}$) в течение 24-48 ч. Посевы проводили также из пробирок, в которых нет видимых признаков роста. После чего пересев на скошенный МПБ, инкубирование при температуре ($37 \pm 1^\circ\text{C}$) 24 ч и проведение биохимических тестов для подтверждения выросших микроорганизмов к *S.aureus*. Далее шел пересев на дифференциально-диагностические среды такие как Брайд Паркер агар и молочно-солевым агар.

Определение бактерий рода *Salmonella*

Исследование на присутствие бактерий рода *Salmonella* проводить было проще, мы использовали ГОСТ 31659-2012 (ISO 6579:2002) Методы выявления бактерий рода *Salmonella spp.* стандарт, данный стандарт не рассчитан для исследования меда, но все же мы решили рискнуть. Исследование происходило согласно выше перечисленному ГОСТу, 25 грамм образца мы добавили в забуферную пептонную воду (ЗПВ) (225 мл) инкубировали 18-20 часов при температуре 37°C . После инкубирования по 1 мл мы добавляли на Бульон РАППАПОРТА-БАССИ-ЛИАДИСА (далее RVS-бульон) и бульона Мюллера-Кауфмана (МК-бульон). RVS-бульон инкубировали при 41.5°C , а МК при 37°C в течение 24 ч, затем шел пересев на чашки Петри со средами: Rambach - агар, агар с бриллиантовым зеленым, XLD-агар, и Эндо.

Определение бактерий рода *Shigella*

При выявлении бактерий рода *Shigella* мы опирались на ГОСТ 32010-2013 Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Shigella*. Так как бактерии рода *Shigella* близки к бактериям рода *Salmonella* и *Escherichia coli (E.coli)*, то исследование было схожим с выявлением бактерий рода *Salmonella*, единственным различием было, то что для вторичного обогащения культуры мы не использовали RVS-бульон и МК-бульон, а просто изменили температуру обогащения культуры с комнатной

(22°C) на 37°C и продолжили инкубирование еще 24 ч. Для идентификации использовались аналогичные среды, что и для бактерий рода *Salmonella* (Rambach - агар, агар с бриллиантовым зеленым, XLD-агар, и Эндо).

Определение осмофильных дрожжей и плесневых грибов

Исследование на осмофильные дрожжи и плесени было чем-то схоже с исследованием на КМАФАнМ, титровали пробы до 10^2 и заливались агаром с дихлораном, бенгальским розовым и хлорамфениколом (DRBC). Образцы помещали в специальный пакет для предотвращения контаминации и обсеменения термостата и ламинарного бокса спорами грибов, затем убирали в термостат на 5 суток. После чего считывали результат.

Оборудование

В данной работе использовалось проверенное и аттестованное оборудование, которое проходит все необходимые проверки в соответствии с графиком технического обслуживания.

Первичные и вторичные посевы, а также окраска по Грамму осуществлялись в боксе микробиологической безопасности БМБ-II-«Ламинар-С»-1,5 (год выпуска 2017 г., страна производитель Россия). Взвешивали образцы на весах BP2100S Sartorius (2008 года, производитель Германия) с максимальной массой 2000г. Для исследования мазков использовался микроскоп медицинский Микмед-6 (2008 г, производство Россия).

Для инкубирования микроорганизмов использовались разные термостаты, т.к. температурные режимы у них разные. Для исследования на БГКП, *S.aures*, бактерии рода *Salmonella*, *Shigella* использовали термостат электрический сухо-воздушный TC-200 СПУ (2016г, производство Россия) с температурой в 37°C . Для исследования на КМАФАнМ использовали Сушильный шкаф Binder с естественной конвекцией ED 115 (производство Германия, 2008г.) температурный режим $30 \pm 1^\circ\text{C}$. Для исследования на осмофильные дрожжи и плесневые грибы мы использовали отдельный термостат для предотвращения заражения оборудования Термостат с охлаждением Binder KB 53 (производство Германия, год ввода в эксплуатацию 2008). Для исследования на осмофильные дрожжи и плесени использовали Ламинарный бокс II класса защиты AC2-4E1 (2008г, производство Сингапур).

Питательные среды хранились в холодильнике

фармацевтическом Sanyo MPR-331 D (2008 г, производство Япония) при температуре от 4 до 8 °С. Питательные среды топились на водяной бане (без перемешивания) SUB Agua PRO, тип SAP 18 (2017г, производство Англия). Чашки Петри с селективной средой разогревались в термостате Binder с естественной конвекцией BD-53 (2008 г, производство Германия) при 37 °С в течение 20 минут.

После окончания исследовательской работы все оборудование обрабатывалось 70 % этиловым спиртом, все помещение обеззараживалось рециркулятором УФ-бактерицидным двухламповым с принудительной циркуляцией воздушного потока РБ-07-Я-ФП (2008г, производство Россия) в течение 60 минут.

Результаты исследований

Основной целью нашего исследования было определить микробиологическую чистоту меда на примере меда, реализуемых на московских рынках. Исследованию подверглись 221 образец, упакованный в различные упаковки.

Первым этапом работ было определение натурального меда, соответствующего требованиям ГОСТ 19792-2017 (Мед натуральный. Технические условия). Проведенные нами физико-химические и органолептические исследования позволили нам исключить фальсифицированный продукт. И, как следствие, искажение результатов. Итого, из 221 образца меда не соответствовали физико-химическим показателям 45 проб, что составляет 20,3 % от общего числа. Согласно результатам исследования 176 образцов меда соответствуют ГОСТ 19792-2017 по физико-химическим и органолептическим показателям и считаются натуральным медом.

Вторым этапом работ являлось определение микроорганизмов в натуральном меде. Общая микробная загрязненность меда присутствовала в 75 пробах, однако 45 проб являются не натуральным медом. Так как микробная чистота это особый показатель указывающий на загрязнение продукта, на несоответствующие условия хранения, на транспортировку и отбор проб.

Бактерии группы кишечной палочки присутствуют в 18 образцах, что от общего количества меда составило 8 %. Так как мед разделен на натуральный и фальсифицированный, то результаты немного изменились, в натуральном меде количество положительных образцов 13, что составляет от общего количества пчелиного меда 7,4 %.

Escherichia coli присутствовала в 37 отобранных образцах (16,7 %). В пчелином меде положительных проб 29, что процентном соотношении составляет 16,4 %.

В исследованиях на выявление *S.aureus* получен положительный результат у 53 образцов, что составляет 29,3 % от общего количества проб. Однако согласно результатам исследования из 53 общих положительных образцов на натуральной мед пришлось 47 проб со *S.aureus*, что составило 26,7 % от общего количества проб пчелиного меда.

Положительных образцов не выявлено при исследовании на наличие бактерий рода *Salmonella* и *Shigella*.

Обсуждение результатов

В своих опытах мы не стали отбраковывать фальсифицированный мед и подвергли его микробиологическому анализу. Как итог, были выявлены образцы загрязненные условно-патогенными микроорганизмами. Результаты исследований натурального и фальсифицированного меда схожи по микробиологическим параметрам, что может служить подтверждением неправильного хранения, транспортировки, отбора меда (Sereia, 2017).

Проводя свои опыты, мы сталкивались с некоторыми трудностями, начиная от выбора среды для титрования и заканчивая температурными и временными диапазонами. Данное обстоятельство значительно прибавило времени для исследования.

Для титрования нам подошли два раствора - физиологический и пептанная вода, при использовании которых в дальнейшем шел рост микроорганизмов. Титровали мы преимущественно до разведения 10^3 , в некоторых случаях до 10^6 . Редкими случаями нашего разведения образцов являлись выявления положительных проб, но как показала практика, в этом нет необходимости, т.к. рост колоний ограничивался в разведениях 10^3 . Для исследования на общую микробную обсемененность мы использовали 2 среды МПА (мясо-пептонный агар) и КМАФАнМ. Обе среды показали отличный результат. Рост колоний присутствовал на чашках со средой КМАФАнМ и МПА с флакона (10^1) с разведения 10^2 и 10^3 . Однако на среде МПА наблюдался рост плесеней, идентификацию которых мы не проводили, т.к. это не было основной целью исследования. Также сказалась ограниченность ресурсов для данного исследования. Следует отметить, что рост осмофильных дрожжей и плесневых грибов ожи-

дается на элективных средах с содержанием медового агара-70 % ².

При исследовании на БГКП и *E.coli* наиболее удачным была среда Кесслер обычной концентрации 10 мл. Для исследования мы использовали разный объем и концентрацию среды Кесслера (5 мл обычной концентрации, 10 мл двойной концентрации и 10 мл обычной концентрации). Помутнение столбика и газообразование наблюдалась в концентрациях: 0.1, 0.01 и 0.001 г. Пересев на чашку Петри с дифференциально-диагностической питательной средой Эндо. На среде Эндо *E.coli* образуют колонии от бледно-розового до темно-красного цвета часто с металлическим блеском, бактерии группы кишечной палочки на среде Эндо образуют типичные колонии колиформных бактерий от розового до красного цвета, часто с металлическим блеском. Проведены были биохимические тесты подтверждающие рост *E.coli* (окраска по Грамму – граммотрицательные палочки; определение отсутствия оксидазы – оксидазоотрицательные; определение образования индола – образует индол; определение образования ацетона – не образует ацетон – реакция Фогес-Проскауэра отрицательная; определение утилизации цитрата – не утилизирует цитрат; определение образования сероводорода – не образует сероводород; определение интенсивности ферментации углеводов – интенсивно ферментирует углеводы; определение ферментации сорбита, глюкозы и лактозы – ферментирует) и бактерий группы кишечной палочки (окраска по Грамму – граммотрицательные палочки; определение отсутствия оксидазы – оксидазоотрицательные; определение ферментации лактозы – ферментируют лактозу с образованием кислоты (цвет среды меняется) и газа).

Исследование на наличие *S.aureus* подтвердили их наличие. Рекомендованная нами среда для исследования – МПБ с 6 % NaCl. На дифференциально-диагностической среде Байрд-Паркер агар с кроличьей плазмой и бычьим фибриногеном *S.aureus* образуют черные или серые, или ровные белые мелкие колонии, окруженные зоной преципитации, указывающей на коагулазную активность, а на молочном агаре – колонии круглые, слегка возвышающиеся над поверхностью агара, с ровными краями, окрашены в желтый, золотистый, лимонно-желтый, кремовый, палевый или белый цвет. Также было проведено биохимическое подтверждение *S.aureus* (окраска по Грамму – грамположительные, имеют шарообразную форму, клетки диаметром 0,6-1,0 мкм, располагающиеся

чаще (но не всегда) в виде скоплений, напоминающих гроздь винограда; определение каталазы – каталазоположительные; образует ацетон (реакция Фогес – Проскауэра) – образует; ферментация мальтозы – ферментирует мальтозу в аэробных условиях с образованием кислоты (цвет среды Гисса меняется).

Исследования на осмофильные дрожжи и плесени были относительно удачными. Рост колоний наблюдался на чашках с флакона (10¹) с разведения 10² у трех образцов, что составило 1.3 % от общего числа проб.

При исследовании на бактерии рода *Salmonella* положительных образцов не обнаружено было. Причина может крыться в неподходящей методике, средах, либо в их выживаемости в меде. Исследования, проводимые Дальневосточным университетом утверждают, что бактерии рода *Salmonella* выживают в меде в течение 14 дней, подтвердить или опровергнуть этот факт мы не смогли (Салимов, 2008). Следует отметить, что данный вопрос не смогли решить наши зарубежные исследователи. Однако мед исследуют на наличие бактерий рода *Salmonella* и *Shigella* в Китайской Народной Республике, странах Персидского залива, Бразилии и Мексике. Предполагаем, что если ведется мониторинг этих бактерий, то и выживаемость и опасность для потребителя существует. В будущем стоит уделить особое внимание бактериям рода *Salmonella* и *Shigella* и протестировать зарубежные методики и среды.

Аналогичная ситуация была выявлена с бактериями рода *Shigella*. Положительных образцов меда не обнаружено. Возможно, причина кроется в том, что бактерии рода *Salmonella* и *Shigella* являются близкими родами, что может косвенно подтверждать непродолжительность выживаемости этих бактерий в меде. Хотя, бактерии рода *Salmonella* и *Shigella* также близки с *E. coli*, что может также опровергать нашу мысль, описанную ранее.

В будущем мы планируем заражать натуральный мед бактериями рода *Salmonella* и *Shigella* для определения выживаемости их, а также подтверждения или опровержения выдвинутых нами теорий.

Заключение

Проведенное нами исследование подтвердило присутствие патогенных и условно-патогенных

² www.biologyguide.ru «Выделение чистой культуры дрожжевых грибов»

микроорганизмов в меде, указывает на проблемы связанные со сбором, транспортировкой и хранением продукта, а также нарушением санитарно-гигиенических требований.

Обнаруженные микроорганизмы также могут передаваться от медоносных пчел, что указывает на болезни и неблагоприятные условия содержания пчел. (Gisder, 2018).

Стоит согласиться с тем, что в нашем вопросе не достаточно проработана практическая часть в отношении бактерий рода *Salmonella* и *Shigella*, однако теоретическая часть выполнена в полном объеме.

Что касается бактерий группы кишечной палочки, *E.coli*, *S.aureus*, осмофильных дрожжей и плесеней, здесь вопрос проработан в полной мере теоретически и практически, но в дальнейшем требуются дополнительные исследования по выживаемости этих микроорганизмов в меде при длительном хранении и температурных режимах.

Говоря о плесневых грибах и осмофильных дрожжах, то здесь вопрос проработан в полной мере, но в будущем необходимы дополнительные исследования с расширением температурных режимов и добавлением питательных сред. Возможно, необходим будет подбор новой методики для более точного определения микроорганизмов.

В будущем необходимо провести исследования для составления соотношения между эпизоотической обстановкой в регионе и качеством меда. Так как мед может являться индикатором неблагоприятной обстановки в регионе, в том числе и на пасеке.

Литература

- Бутко, М. П., Герасимов, А. С., Посконная, Т. Ф., Смирнов, А. М., Клочко, Р. Т., & Попов, П. А. (2019). *Требования по обеспечению безопасности и ветеринарно-санитарная экспертиза мёда пчелиного*. Издательский дом «Научная библиотека».
- Жунева, Л. С., Семченко, М. В., & Асякина, Л. К. (2019). Анализ технологий получения сухого меда. *Хранение и переработка сельхозсырья*, 2, 8-23. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.69>
- Салимов, Р. М. (2008). Выживаемость микроорганизмов в некоторых пищевых продуктах. *Дальневосточный аграрный вестник*, 4 (8), 25-27.
- Al-Nahari, A. A. M., Almasaudi, S. B., Abd El-Ghany, E. S. M., Barbour, E., Al Jaouni, S. K., & Harakeh, S. (2015). Antimicrobial activities of Saudi honey against *Pseudomonas aeruginosa*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(5), 521-525. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.04.006>
- Al-Waili, N., Salom, K., Al-Ghamdi, A., & Ansari, M. J. (2012). Antibiotic, pesticide, and microbial contaminants of honey: human health hazards. *The Scientific World Journal*, 2012, 930849. <https://doi.org/10.1100/2012/930849>
- Anand, S., Deighton, M., Livanos, G., Morrison, P.D., Pang, E. C. K., & Mantri, N. (2019) Antimicrobial activity of agastache honey and characterization of its bioactive compounds in comparison with important commercial honeys. *Frontiers in Microbiology*, 10(263), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00263>
- Augustin, J.-C., & Carlier, V. (2006). Lessons from the organization of a proficiency testing program in food microbiology by interlaboratory comparison: analytical methods in use, impact of methods on bacterial counts and measurement uncertainty of bacterial counts. *Food Microbiology*, 23(1), 1-38. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.01.010>
- Boncrisiani, H., Li, J. L., Evans, J. D., Pettis, J. & Chen, Y. P. (2011). Scientific note on PCR inhibitors in the compound eyes of honey bees, *Apis mellifera*. *Apidologie*, 42, 457-460. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0009-9>
- Bulgases, B. Y., Lani, M. N., Hassan, Z., Wan Yusoff, W. M., & Fnaish, S. G. (2016). Antifungal Activity of Lactic Acid Bacteria Strains Isolated From Natural Honey Against Pathogenic *Candida* Species. *Mycobiology*, 44(4), 302-309. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2016.44.4.302>
- Campeau, M. E. M., & Patel, R. (2014). Antibiofilm activity of manuka honey in combination with antibiotics. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Bacteriology*, 2014, 795281. <https://doi.org/10.1155/2014/795281>
- Chien, H.-Y., Shih, A.-T., Yang, B.-S., & Hsiao, V. K. S. (2019). Fast honey classification using infrared spectrum and machine learning. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 16(6), 6874-6891. <https://doi.org/10.3934/mbe.2019344>
- Fernández, L. A., Ghilardi, C., Hoffmann, B., Busso, C., & Gallez, L. M. (2017). Microbiological quality of honey from the pampas region (argentina) throughout the extraction process. *Ryobiology*, 49(1), 69-72. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.05.010>
- Gisder, S., & Genersch, E. (2015). Special issue: honey bee viruses. *Viruses*, 7(10), 5603-5608. <https://doi.org/10.3390/v7102885>
- Gomes, S., Dias, L. G., Moreira, L. L., Rodrigues, P., &

- Estevinho, L. (2010). Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 544-548. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.029>
- Hegazi, A. G., Al Guthami, F. M., Al Gethami, A. F. M., Allah, F. M. A., Saleh, A. A., Fouad, E. A. (2017) Potential antibacterial activity of some Saudi Arabia honey. *Veterinary World*, 10(2), 233-237. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.233-237>
- Johnston, M., McBride, M., Dahiya, D., Owusu-Apenten, R., Nigam, P. S. (2018). Antibacterial activity of Manuka honey and its components: An overview. *AIMS Microbiology*, 4(4), 655-664. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.4.655>
- Kwakman, P. H. S., & Zaat, S. A. J. (2012). Antibacterial components of honey. *International Union of Biochemistry and Molecular Biology*, 64(1), 48-55. <https://doi.org/10.1002/iub.578>
- Kwong, W. K., Mancenido, A. L. & Moran, N. A. (2017). Immune system stimulation by the native gut microbiota of honey bees. *Royal Society Open Science*, 4(2), 170003. <https://doi.org/10.1098/rsos.170003>
- Liu, Q., Lei, J., & Kadowaki, T. (2019). Gene disruption of honey bee trypanosomatid parasite, *Lotmaria passim*, by CRISPR/Cas9 system. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 9(126), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2019.00126>
- Mama, M., Teshome, T., Detamo, J. (2019). Antibacterial activity of honey against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: a laboratory-based experimental study. *International Journal of Microbiology*, 2019, 7686130. <https://doi.org/10.1155/2019/7686130>
- Matović, K., Ćirić, J., Kaljević, V., Nedić, N., Jevtić, G., Vasković, N., & Baltić, M. Z. (2019). Physicochemical Parameters and Microbiological Status of Honey Produced in an Urban Environment in Serbia. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 14148-14157. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1659-1>
- Oliveira, A., Ribeiro, H. G., Silva, A. C., Silva, M. D., Sousa, J. C., Rodrigues, C. F., Melo, L. D. R., Henriques, A. F., & Sillankorva, S. (2017). Synergistic Antimicrobial Interaction between Honey and Phage against *Escherichia coli* Biofilms. *Frontiers in Microbiology*, 8, 664-302. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02407>
- Pajor, M., Worobo, R., Milewski, S., & Szwed, P. (2018). The antimicrobial potential of bacteria isolated from honey samples produced in the apiaries located in Pomeranian voivodeship in northern Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9), 2002. <https://doi.org/10.3390/ijerph15092002>
- Regan, T., Barnett, M. W., Laetsch, D. R., Bush, S. J., Wragg, D., Budge, G. E., Hight, F., Dainat, B., de Miranda, J. R., Watson, M., Blaxter, M., & Freeman, T. C. (2018). Characterisation of the British honey bee metagenome. *Nature Communications*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07426-0>
- Ruiz-Argüeso, T., & Rodríguez-Navarro, A. (1975). Microbiology of Ripening Honey. *Applied Microbiology*, 30(6), 893-896. <https://doi.org/10.1128/AEM.30.6.893-896.1975>
- Sereia, M. J., Alves, E. M., Toledo, V. A. A., Marchini, L. C., Faquinello, P., Sekine, E. S., & Wielewski, P. (2011). Microbial flora in organic honey samples of Africanized honeybees from Paraná river islands. *Food Science and Technology*, 31(2), 462-466. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000200028>
- Sereia, M. J., Perdoncini, M. R. F. G., Marçó, P. H., Parpinelli, R. S., De Lima, E. G., & Anjo, F. A. (2017). Techniques for the evaluation of microbiological quality in honey. In V. de A. A. de Toledo (Ed.), *Honey Analysis* (pp. 233-258). <https://doi.org/10.5772/67086>
- Silva, M. S., Rabadzhiev, Y., Eller, M. R., Iliev, I., Ivanova, I., & Santana, W. C. (2017). Microorganisms in Honey. In V. de A. A. de Toledo (Ed.), *Honey Analysis* (pp. 233-258). <https://doi.org/10.5772/67262>
- Tudor, L., Mitrănescu, E., Galiş, A. M., Ilie, L. I., & Ceauşi, C. (2006). Microbiological and physicochemical analysis of honey from southern Romania. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9(9), 1485-1494.
- Vázquez-Quinones, C. R., Moreno-Terrazas, R., Natividad-Bonifacio, I., Quinones-Ramírez, E. I., & Vázquez-Salinas, C. (2017). Microbiological Assessment of Honey in México. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(1), 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.005>
- Vejnovic, B., Stevanovic, J., Schwarz, R. S., Schwarz, R., Aleksic, N., Mirilovic, M., Jovanovic, N. M., Stanimirovic, Z. (2018). Quantitative PCR assessment of *Lotmaria passim* in *Apis mellifera* colonies co-infected naturally with *Nosema ceranae*. *Journal of Invertebrate Pathology*, 151, 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.11.003>

Microbiological Safety of Honey

Irina V. Kushch

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: i.kusch@mail.ru

Natalya E. Vanner

All-Russian Research Institute of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology
- Branch of Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Center - K. I. Skryabin, Ya. R. Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine, Russian Academy of Sciences»
5 Zvenigorodskoe highway, Moscow, 123022, Russian Federation
E-mail: vanner.natalia@gmail.com

Damir I. Udavliev

Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: udavlievdi@mgupp.ru

Maya D. Muradova

Turkmen Agricultural University Named after S.A.Niyazov
62 Gorogly str., Ashgabat, 744000, Turkmenistan
E-mail: mouradovamd@gmail.com

A microbiological study of bee honey sold in the Moscow markets with respect to pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms (bacteria of the genus *Salmonella*, *Shigella*, total microbial contamination (KMAFAnM), bacteria of the *E. coli* group, mold, osmophilic yeast, *S. aureus*) was carried out. Additionally, organoleptic (appearance, aroma, taste) and physicochemical (determination of the mass fraction of sucrose, fructose and glucose, hydroxymethylfurfural, acidity, electrical conductivity, etc.) were conducted to exclude product falsification. Microbiological, organoleptic and physico-chemical studies were carried out in a testing laboratory that meets the requirements of GOST ISO / EC 17025-2019. The study presented 221 honey samples taken from 13 Moscow markets for the presence of pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms. According to the results of studies, *Escherichia coli* was found in 37 samples (16.7 %), *E. coli* bacteria (BHEC) in 18 samples (8 %), *S. aureus*, 25 KMAFAnM (53 samples (23.9 %)) 11.3 %, osmophilic yeast - 3 (1.3 %), a discrepancy in physical and chemical parameters was found in 45 (20.3 %) samples. Considered Russian and international requirements for the microbiological safety of honey in relation to pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms. Analyzed the comparative characteristics of indicators and their values.

Keywords: honey, microbiological safety, international requirements, pathogenic and conditionally pathogenic microorganisms

References

Butko, M. P., Gerasimov, A. S., Poskonnaya, T. F., Smirnov, A. M., Klochko, R. T., & Popov, P. A. (2019). *Trebovaniya po obespecheniyu bezopasnosti i veterinarno-sanitarnoy ekspertizy moda pchelinogo* [Requirements for ensuring safety and veterinary sanitary examination of bee honey]. Scientific Library

Publishing House

Zhuneva, L. S., Semchenko, M. V., & Asyakina, L. K. (2019). Analysis of technologies for obtaining dry honey. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and processing of agricultural raw materials], 2, 8-23. <https://doi.org/10.36107/spfp.2019.69>
Salimov, R. M. (2008). Microorganism survival in certain foods. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* [Far

- Eastern Agricultural Bulletin], 4(8), 25-27. <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2008-00074>
- Al-Nahari, A. A. M., Almasaudi, S. B., Abd El-Ghany, E. S. M., Barbour, E., Al Jaouni, S. K., & Harakeh, S. (2015). Antimicrobial activities of Saudi honey against *Pseudomonas aeruginosa*. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 22(5), 521-525. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.04.006>
- Al-Waili, N., Salom, K., Al-Ghamdi, A., & Ansari, M. J. (2012). Antibiotic, pesticide, and microbial contaminants of honey: human health hazards. *The Scientific World Journal*, 2012, 930849. <https://doi.org/10.1100/2012/930849>
- Anand, S., Deighton, M., Livanos, G., Morrison, P.D., Pang, E. C. K., & Mantri, N. (2019) Antimicrobial activity of agastache honey and characterization of its bioactive compounds in comparison with important commercial honeys. *Frontiers in Microbiology*, 10(263), 1-16. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00263>
- Augustin, J.-C., & Carlier, V. (2006). Lessons from the organization of a proficiency testing program in food microbiology by interlaboratory comparison: analytical methods in use, impact of methods on bacterial counts and measurement uncertainty of bacterial counts. *Food Microbiology*, 23(1), 1-38. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.01.010>
- Boncrisiani, H., Li, J. L., Evans, J. D., Pettis, J. & Chen, Y. P. (2011). Scientific note on PCR inhibitors in the compound eyes of honey bees, *Apis mellifera*. *Apidologie*, 42, 457-460. <https://doi.org/10.1007/s13592-011-0009-9>
- Bulgasem, B. Y., Lani, M. N., Hassan, Z., Wan Yusoff, W. M., & Fnaish, S. G. (2016). Antifungal Activity of Lactic Acid Bacteria Strains Isolated From Natural Honey Against Pathogenic *Candida* Species. *Mycobiology*, 44(4), 302-309. <https://doi.org/10.5941/MYCO.2016.44.4.302>
- Campeau, M. E. M., & Patel, R. (2014). Antibiofilm activity of manuka honey in combination with antibiotics. *Hindawi Publishing Corporation International Journal of Bacteriology*, 2014, 795281. <https://doi.org/10.1155/2014/795281>
- Chien, H.-Y., Shih, A.-T., Yang, B.-S., & Hsiao, V. K. S. (2019). Fast honey classification using infrared spectrum and machine learning. *Mathematical Biosciences and Engineering*, 16(6), 6874-6891. <https://doi.org/10.3934/mbe.2019344>
- Fernández, L. A., Ghilardi, C., Hoffmann, B., Busso, C., & Gallez, L. M. (2017). Microbiological quality of honey from the pampas region (argentina) throughout the extraction process. *Ryobiology*, 49(1), 69-72. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.05.010>
- Gisder, S., & Genersch, E. (2015). Special issue: honey bee viruses. *Viruses*, 7(10), 5603-5608. <https://doi.org/10.3390/v7102885>
- Gomes, S., Dias, L. G., Moreira, L. L., Rodrigues, P., & Estevinho, L. (2010). Physicochemical, microbiological and antimicrobial properties of commercial honeys from Portugal. *Food and Chemical Toxicology*, 48(2), 544-548. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.029>
- Hegazi, A. G., Al Guthami, F. M., Al Gethami, A. F. M., Allah, F. M. A., Saleh, A. A., Fouad, E. A. (2017) Potential antibacterial activity of some Saudi Arabia honey. *Veterinary World*, 10(2), 233-237. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2017.233-237>
- Johnston, M., McBride, M., Dahiya, D., Owusu-Apenten, R., Nigam, P. S. (2018). Antibacterial activity of Manuka honey and its components: An overview. *AIMS Microbiology*, 4(4), 655-664. <https://doi.org/10.3934/microbiol.2018.4.655>
- Kwakman, P. H. S., & Zaat, S. A. J. (2012). Antibacterial components of honey. *International Union of Biochemistry and Molecular Biology*, 64(1), 48-55. <https://doi.org/10.1002/iub.578>
- Kwong, W. K., Mancenido, A. L. & Moran, N. A. (2017). Immune system stimulation by the native gut microbiota of honey bees. *Royal Society Open Science*, 4(2), 170003. <https://doi.org/10.1098/rsos.170003>
- Liu, Q., Lei, J., & Kadowaki, T. (2019). Gene disruption of honey bee trypanosomatid parasite, *Lotmaria passim*, by CRISPR/Cas9 system. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 9(126), 1-12. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2019.00126>
- Mama, M., Teshome, T., Detamo, J. (2019). Antibacterial activity of honey against methicillin-resistant *Staphylococcus aureus*: a laboratory-based experimental study. *International Journal of Microbiology*, 2019, 7686130. <https://doi.org/10.1155/2019/7686130>
- Matović, K., Ćirić, J., Kaljević, V., Nedić, N., Jevtić, G., Vasković, N., & Baltić, M. Z. (2019). Physicochemical Parameters and Microbiological Status of Honey Produced in an Urban Environment in Serbia. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(8), 14148-14157. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1659-1>
- Oliveira, A., Ribeiro, H. G., Silva, A. C., Silva, M. D., Sousa, J. C., Rodrigues, C. F., Melo, L. D. R., Henriques, A. F., & Sillankorva, S. (2017). Synergistic Antimicrobial Interaction between Honey and Phage against *Escherichia coli* Biofilms. *Frontiers in Microbiology*, 8, 664-302. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2017.02407>
- Pajor, M., Worobo, R., Milewski, S., & Szveda, P. (2018). The antimicrobial potential of bacteria isolated from honey samples produced in the apiaries located in pomeranian voivodeship in northern Poland. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(9), 2002. <https://doi.org/10.3390/ijerph15092002>

- Regan, T., Barnett, M. W., Laetsch, D. R., Bush, S. J., Wragg, D., Budge, G. E., Highet, F., Dainat, B., de Miranda, J. R., Watson, M., Blaxter, M., & Freeman, T. C. (2018). Characterisation of the british honey bee metagenome. *Nature Communications*, 9(1), 1-13. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-07426-0>
- Ruiz-Argueso, T., & Rodriguez-Navarro, A. (1975). Microbiology of Ripening Honey. *Applied Microbiology*, 30(6), 893-896. <https://doi.org/10.1128/AEM.30.6.893-896.1975>
- Sereia, M. J., Alves, E. M., Toledo, V. A. A., Marchini, L. C., Faquinello, P., Sekine, E. S., & Wielewski, P. (2011). Microbial flora in organic honey samples of africanized honeybees from Paraná river islands. *Food Science and Technology*, 31(2), 462-466. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000200028>
- Sereia, M. J., Perdoncini, M. R. F. G., Março, P. H., Parpinelli, R. S., De Lima, E. G., & Anjo, F. A. (2017). Techniques for the evaluation of microbiological quality in honey. in V. de A. A. de Toledo (Ed.), *Honey Analysis* (pp.233-258). <https://doi.org/10.5772/67086>
- Silva, M. S., Rabadzhiev, Y., Eller, M. R., Iliev, I., Ivanova, I., & Santana, W. C. (2017). Microorganisms in Honey. In V. de A. A. de Toledo (Ed.), *Honey Analysis* (pp.233-258). <https://doi.org/10.5772/67262>
- Tudor, L., Mitrănescu, E., Galiş A. M., Ilie, L. I., & Ceauşi, C. (2006). Microbiological and physico-chemical analysis of honey from southern romania. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9(9), 1485-1494.
- Vázquez-Quiñones, C. R., Moreno-Terrazas, R., Natividad-Bonifacio, I., Quiñones-Ramírez, E. I., & Vázquez-Salinas, C. (2017). Microbiological Assessment of Honey in México. *Revista Argentina de Microbiología*, 50(1), 75-80. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2017.04.005>
- Vejnovic, B., Stevanovic, J., Schwarz, R. S., Schwarz R., Aleksic, N., Mirilovic, M., Jovanovic, N. M., Stanimirovic, Z. (2018). Quantitative pcr assessment of lotmaria passim in apis mellifera colonies co-infected naturally with nosema ceranae. *Journal of Invertebrate Pathology*, 151, 76-81. <https://doi.org/10.1016/j.jip.2017.11.003>

Использование микробных культур в технологии функциональных напитков

Рындин Александр Алексеевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: aleksandr-ryndin@rambler.ru

Шаненко Елена Феликсовна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: eshanenko@yandex.ru

Мухамеджанова Татьяна Георгиевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: tatyana.muhamedjanova@yandex.ru

Гришин Артём Геннадиевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: grishin3@gmail.com

Веселков Кирилл Александрович

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: kirich996@gmail.com

Константинова Анастасия Сергеевна

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»
Адрес: 125080, Москва, Волоколамское шоссе, дом 11
E-mail: alko41596@gmail.com

Чай является традиционным напитком для многих народов мира. В странах Востока помимо традиционных видов чая использовали напитки, полученные микробной ферментацией листьев чайного растения. Примером является китайский чай Хэй Ча и напиток, полученный ферментацией чайного экстракта – Комбуча. Микробные культуры, используемые для ферментации, придавали напиткам дополнительные функциональные свойства. Целью данного исследования было изучение микроскопических грибов, используемых в технологии чая Хэй Ча, и ассоциации бактерий и дрожжей напитка Комбуча с последующим изучением возможности их использования для получения ферментированных напитков. Из образцов чая Хэй Ча были выделены микроскопические грибы, идентифицированные как *E. cristatum*, из напитка Комбуча – бактерии рода *Acetobacter* и дрожжи рода *Saccharomyces*. Изучено влияние состава ферментированного сырья и режимов культивирования на рост и развитие выделенных микроорганизмов. Определены оптимальные параметры ферментации и разработана технологическая схема получения готового ферментированного продукта на основе *Chamaenerion angustifolium* (кипрей узколистный). Показано, что используемые микроорганизмы не синтезируют микотоксины, обладают способностью к синтезу антиоксидантов и витаминов группы В и др. В напитках, полученных ферментацией экстрактов листьев *Camellia sinensis* (камелий китайская), *Chamaenerion angustifolium* (кипрей узколистный)

Как цитировать

Рындин, А. А., Шаненко, Е. Ф., Мухамеджанова, Т. Г., Гришин, А. Г., Веселков, К. А., & Константинова, А. С. (2019). Использование микробных культур в технологии функциональных напитков. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s268>

было определено содержание и состав биогенных аминов, аминокислот, фенольных соединений и антиоксидантов. Разработана рецептура напитков с использованием выделенных микробных культур, в состав которых в качестве дополнительных ингредиентов входят мёд, солодовое сусло, сок виноградный, мате, кофе. Безопасность продукта была подтверждена результатами микробиологического анализа. Полученные напитки имеют насыщенный цвет, приятный аромат, кисло-сладкий с фруктовыми оттенками вкус.

Ключевые слова: микроскопические грибы, ассоциации бактерий и дрожжей, Хэй Ча, Комбуча, функциональные напитки, безопасность.

Введение

Чай – это растение с уникальными биохимическими свойствами. Экстракты чая (*Camellia sinensis*) в Древнем Китае использовались не только как напиток, но и как лекарственное средство (Шендеров & Доронин, 2004; Афонина, Лебедева, & Сетко, 2017). Молодые листья чая содержат эфирное масло, большое количество фенольных соединений, микро- и макроэлементы, витамины и другие ингредиенты с выраженной биологической активностью (Шендеров & Доронин, 2004; Афонина и соавт., 2017). В настоящее время в чае идентифицировано около 300 соединений, половина которых является водорастворимыми. По своим органолептическим характеристикам экстракт чайных листьев представляет собой горькую жидкость с травянистым вкусом и запахом и в таком виде практически не используется в качестве напитка.

Для получения напитка, который называют «чёрный чай», молодые чайные листья подвяливают и скручивают, в результате чего клетки чайных листьев разрушаются и начинается активные процессы окисления лабильных компонентов, таких как терпенов эфирного масла, фенолов, и др. (Покорн, 1998; Барабой, 2008) активную роль играют пероксидаза и полифенолоксидаза, которые окисляют фенольные соединения, превращая их в продукты, придающие чаю цвет и аромат (Афонина и соавт., 2017; Мелкадзе, 2008) Чем глубже идут окислительные процессы, тем ярче вкус и насыщеннее цвет чая (Cheynier & Veronique, 2005).

Биохимическая активность такого ферментированного чая определяется составом и количеством образовавшихся в ходе ферментации соединений. В неферментированном чае присутствуют (-)-эпикатехин (ЭК) и соединения в состав которых входит (-)-катехин и галловая кислота – (-)-эпикатехин-3-галлат (ЭКГ), (-)-эпигаллокатехин (ЭГК), (-)-эпигаллокатехин-3-галлат (ЭГКГ), (+)-катехин, (+)-галлокатехин. До 65 % от общей массы катехинов приходится на ЭГКГ (Афонина и соавт., 2017; Mak, 2012).

При ферментации на первом этапе катехины окисляются до тиофлавинов, а затем, в результате окислительной конденсации с аминокислотами, образуются теарубигины. Более глубокая ферментация чайных листьев приводит к образованию теаброунинов, представляющих собой комплексы продуктов окисления катехинов с белками. Теафлавины придают чаю золотистую окраску, теарубигины – красноватую, а теаброунины – тёмно-коричневую (Kusano, Matsuo, Saito, & Tanaka, 2015).

Биологическая активность чая определяется в основном двумя группами соединений алкалоидами – кофеином, теобромином и теофиллином, и фенольными соединениями – катехинами, эпигаллокатехинами, катехингаллатами и другими (Шендеров & Доронин, 2004).

В последнее время интерес к чаю возрос из-за высокой биологической его компонентов, что позволяет использовать его для профилактики ряда заболеваний (Raquin, 2009; Ahmad et al., 2015).

Флавоноиды чая снижают хрупкость и проницаемость капилляров, нормализуя тканевое дыхание, предотвращают развитие атеросклероза (Маслов, 2007). Катехины являются активными антиоксидантами, освобождающими организм от свободных радикалов. Продукты окислительной конденсации катехинов, образующихся при ферментации, обладают способностью связывать и выводить из организма токсины, оказывают вяжущее и бактериостатическое действие (Кравченко, 2011). Установлено, что катехины активно участвуют в метаболизме белков. Регулируют активность ферментов, в частности теломеразы – фермента, который регулирует процесс клеточного деления.

Эпигаллокатехингаллат повышает активность ферментов, участвующих в остеосинтезе и увеличивает минерализацию костной ткани, что делает его эффективным при ревматоидном артрите (Мак, 2012). Установлено, что катехины чая защищают генетический аппарат клетки от ионизирующего излучения и подавляют рост опухолей и замедля-

ют развитие болезней Альцгеймера и Паркинсона (Афони́на и соавт., 2017; Рогожин, 2012). Флавоноиды чая снижают риск развития сердечно-сосудистых заболеваний, атеросклероза, и уменьшают уровень атерогенной фракции липопротеинов.

Уникальный состав чая, характеризующийся высоким содержанием фенолов, сделал его «хозяином» для ряда микроорганизмов, которые живут на чайных листьях, метаболизируя различные соединения и в том числе фенолы. Эти микроорганизмы активно работают в листовом опаде, участвуя в образовании гумуса.

В Древнем Китае эти микроорганизмы были выделены из чая и использованы для получения чайных напитков. Наиболее известными продуктами, полученными путём микробной ферментации чая, является постферментированный чай Пуэр и Хэй Ча и напиток, полученный ферментацией чайного экстракта – Комбуча (Jarrell, Cal & Bennett, 2000). В процессе ферментации микроорганизмы метаболизируют компоненты чая и обогащают его своими метаболитами, обладающими высокой биологической активностью. В результате такой микробной ферментации функциональные свойства напитков значительно повышаются (Zhang, L., Zhang, Zh.-zh., Zhou, Ling, & Wan, 2013).

Физиологическая активность и профилактическое действие чая увеличивается при постферментации микробными культурами. Изучение постферментированного чая Хэй Ча показало, что в нём присутствуют соединения, в том числе индольные алкалоиды кристатулина, продуцируемые грибом *E. cristatum*, который обладает антибактериальной и противовирусной активностью (Du, Li, X., Li, Ch.-Sh., Shang, & Wang, 2012). Установлено, что экстракты чая, ферментированного грибом *E. cristatum* обладают антиканцерогенной и антидиабетической активностью, а также влияют на липидный обмен, снижая липогенез и усиливая на процесс липолиза и окисления жиров, что позволяет его использовать для профилактики ожирения (Peng et al., 2014).

Второй вариант получения из чая напитков с функциональными свойствами – это ферментация чайного экстракта симбиотической культурой микроорганизмов, представляющей собой сообщество уксуснокислых бактерий и дрожжей (Вережкина, Светлакова, Поветкин, Пруцаков, 2010; Добрыня и соавт., 2015; Jayabalan, Malbaša & Sathishkumar, 2016). Это сообщество в литературе называют «чайный гриб» или *medusomyces gisevii*, а напиток, полученный ферментацией чайного

экстракта с добавлением сахара – Комбуча (Сотников & Марченко, 2014; Даниэлян, 2005; Jayabalan, Malbaša, Loncar, & Vitas, 2014). Родиной этой симбиотической культуры и напитка является Китай, где ему присваивают целебные свойства.

Современные исследования показали, что этот напиток содержит фенольные соединения (в том числе флавоноиды) органические кислоты, витамины группы В, аскорбиновую кислоту, аминокислоты, биогенные амины, липиды, белки, макро- и микроэлементы и вещества, обладающие антибактериальной активностью (Сотников & Марченко, 2014, Алиева, Болтачева, Тимченко, Бондарева, & Добрыня, 2018; Villarreal-Soto, Beaufort, Bouajila, Souchard & Taillandier, 2018). Исследование профилактических и лечебных свойств напитка показало, что он действительно оказывает на организм антибактериальное и противовоспалительное действие, выводит токсины, стимулирует активность эндокринной и иммунокомпетентной системы, препятствует развитию атеросклероза, нормализует состав микробиоты кишечника, регулирует аппетит и массу тела, уменьшает артериальное давление и повышает эффективность терапии при артритах, ревматизме, бронхитах и бронхиальной астме, а также оказывает седативное действие при психоэмоциональном напряжении и оптимизирует обмен веществ в целом (Каххорова, 2018; Алиева и соавт., 2018; Кароматов, 2014; Malbaša, Loncar, Vitas, & Čanadanović-Brunet, 2011).

Многочисленные литературные данные позволяют сделать вывод, что микробная ферментация как в случае чай Хэй Ча, так и в случае Комбучи значительно повышает функциональные свойства чая, однако широкое распространение этих продуктов, с одной стороны, ограничивает высокая стоимость чая Хэй Ча, так как он входит в группу «драгоценных чаёв Китая», с другой стороны – ограниченный промышленный выпуск напитка Комбуча, связанный, видимо, с отсутствием промышленной культуры *Medusomyces gisevii* и отработанной простой технологии получения напитка.

Теоретическое обоснование

На территории России до появления чая, завезённого из Китая, для утоления жажды использовали напиток из Кипрея узколистного или Иван-чая. Листья Кипрея использовали непосредственно после сушки или после окислительной ферментации, улучшающей органолептические свойства напитка. Современные исследования показали, что экстракт кипрея обладает противовоспалительным,

успокаивающим и противосудорожным действием, является источником витаминов и антиоксидантов (Валов, 2012). В состав листьев кипрея входят флавоноиды, в том числе антоцианы, дубильные вещества, пектин, органические кислоты, аскорбиновая кислота, микро- и макроэлементы. По содержанию аскорбиновой кислоты кипрей находится на одном уровне с лимоном и черной смородиной (Царёв, Базарнова, & Дубенский, 2016).

Это позволяет предположить, что листья Кипрея содержат все питательные вещества, необходимые для развития *E. cristatum*, а экстракты Кипрея содержат в достаточном количестве элементы питания для развития симбиотической культуры *Medusomyces gisevii*.

Задачей нашего исследования являлось выделение гриба *E. cristatum* из товарных образцов чая Хэй Ча и скрининг по органолептическим показателям культуры *Medusomyces gisevii* из товарных образцов напитка Комбуча, а также определение параметров ферментации листьев и экстрактов Кипрея, позволяющих получить напиток с высокими потребительскими свойствами. Ферментирование Кипрея исследуемыми микробными культурами позволит обогатить традиционный русский напиток биологически активными веществами и придать ему новые функциональные свойства.

Исследование

Материалы и методы

Выделение чистой культуры гриба *E. cristatum* из брикетированного чая Хэй Ча осуществляли посевом смыва с чая на плотную питательную среду – солодовый сусло-агар (8%). Изолированную колонию гриба пересекали на свежую питательную среду в чашке Петри для выделения колонии в чистую культуру. Выделение чистых культур *Medusomyces gisevii* проводилось из образца товарной продукции Комбуча. Для выделения чистых культур из *Medusomyces gisevii* был использован метод основанный на высеве определённого количества продукта или его разведений на поверхности мясо-пептонного агара для бактерий и солодового сусло-агара для дрожжей, распределении тонким

слоем суспензии микроорганизмов с помощью шпателя Дригальского по поверхности плотной среды, культивировании посевов в аэробных условиях при 30°C в течении 72 часов для бактерий и при 25°C в течении 5 суток для дрожжей и пересеве колоний на скошенную агаризованную среду для изучения морфологических свойств (ГОСТ 10444.12-2013, ГОСТ 10444.15-94).^{1,2} Изучение микроморфологических свойств полученных чистых культур микроорганизмов проводили с использованием метода микроскопирования (Жарикова & Козьмина, 2001).

Способность гриба синтезировать микотоксины определяли методом ВЭЖХ. Микотоксины определяли в биомассе. Использовали хроматограф TermoFinnigan с диодоматричным детектором, колонка хроматографическая Hypersil™ BDS C18 200×4,6 мм 5 мкм (Thermo Fisher Scientific, США) (Blackburn, 2006).^{3,4,5}

Способность гриба синтезировать биогенные амины определяли в экстрактах листьев Кипрея, ферментированных грибом *E. cristatum*, методом ВЭЖХ. Биогенные амины определяли на изократическом хроматографе с использованием насоса PM-80, электрохимический детектор LC-4B (Bioanalytical sys., США), колонка хроматографическая YMC-Triart C18 150×3,0 мм 5 мкм (YMC co., Япония) (Олескин & Роговский, 2017).

Листья Кипрея засеивали суспензией спор, полученных смывом со скошенного сусло-агара, содержащего чистую культуру *E. cristatum*. Культивирование велось при температуре 28°C в течение 14 суток.

Водные экстракты из листьев Кипрея получали при гидромодуле 1:20, температуре экстрагирования 80°C, продолжительности экстракции 15 минут, при постоянном перемешивании.

Содержание сухих веществ определяли пикнометрическим методом (Мальцев, 1976).

Окислительно-восстановительный потенциал определяли методом Грея и Стоуна путем замера времени обесцвечивания реактива 2,6-дихлорфенолиндофенолята натрия (Мальцев, 1976).

¹ ГОСТ 10444.12-2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов (с Поправкой)

² ГОСТ 10444.15-94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов

³ ГОСТ 28038-2013 Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения микотоксина патулина (с Поправкой).

⁴ ГОСТ 30711-2001 Продукты пищевые. Методы выявления и определения содержания афлатоксинов В(1) и М(1).

⁵ МУ по обнаружению, идентификации и определению содержания дезоксиниваленола (вомитоксина) и зеараленона в зерне и зернопродуктах.

Фенольные соединения определяли методом ВЭЖХ на хроматографе Agilent 1200 (Agilent Technologies, USA) с диодноматричным детектором (DAD), колонка хроматографическая Hypersil ODS C18 250×4,6 мм 5 мкм (Thermo Fisher Scientific, USA).

Титруемую кислотность определяли в водных экстрактах листа Кипрея до и после ферментирования культурой *Medusomyces gisevii*.⁶

Органолептическая оценка полученных экстрактов осуществлялась согласно методике, описанной в ГОСТ.⁷

Для определения органолептических показателей продукции, ферментированной культурой *Medusomyces gisevii*, использовали балльный метод (скоринг).⁸

Результаты

Для изучения возможности использования микробных культур *E. cristatum* и *Medusomyces gisevii* для получения ферментированных продуктов на основе листьев Кипрея нами было проведено выделение чистой культуры гриба из образца чая Хэй Ча и микроорганизмов симбиотической культуры *Medusomyces gisevii*.

Для выделения микроорганизмов из чая Хэй Ча использовали товарный образец компании Мойчай.ру, для выделения симбиотической культуры *Medusomyces gisevii* – образцы продукции напитка Комбуча из торговой сети. Использовали пять об-

разцов напитка Комбуча разных производителей. Был проведён скрининг и отобран образец с наилучшими органолептическими показателями.

Выделение гриба из чая Хэй Ча проводилось посевом на сусло-агар, а из образца напитка Комбуча – посевом на мясоептонный агар и сусло-агар.

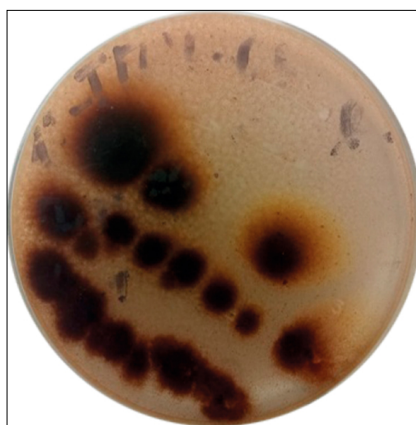
Выделенная семидневная чистая культура гриба на сусло-агаре имела желтые колонии, рост медленный, в диаметре 3-4 см. По мере старения культуры цвет меняется до оливково-коричневого или коричневого.

В питательную среду выделяется пигмент коричневого цвета. Поверхностный мицелий невысокий около 2 мм над питательной средой. При микропировании видны многочисленные клейстотеции, шаровидной формы, конидии отсутствуют. Полученные данные позволяют предварительно отнести гриб к *Eurotium cristatum*.

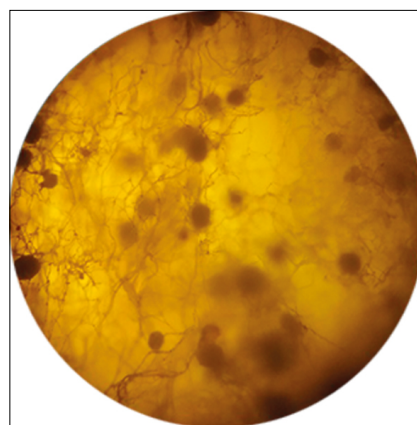
Из напитка Комбуча были выделены отдельные изолированные колонии бактерий и дрожжей. Изученные морфологические свойства колоний бактерий показали, что они в основном однотипные. При изучении морфологических признаков, характеризующих отдельные клетки и их популяции, было выявлено, что преобладающими микроорганизмами в ферментирующей культуре являются бактерии рода *Acetobacter*. На солодовом сусло-агаре преобладали дрожжи, предположительно относящиеся к роду *Saccharomyces*, что подтверждается литературными данными.



(1)



(2)



(3)

Рисунок 1. *E. cristatum*. 1,2 – колонии гриба на сусло-агаре; 3 – микрофотография клейстотеций x100

⁶ ГОСТ 6687.4-86 Напитки безалкогольные, квасы и сиропы. Метод определения кислотности (с Поправкой)

⁷ ГОСТ 32572-2013 Чай. Органолептический анализ.

⁸ ГОСТ ISO 6658-2016 Органолептический анализ. Методология. Общее руководство.

Для оценки возможности использования выделенных культур для ферментации листьев и экстрактов Кипрея был проведён ряд экспериментов, в которых выделенную культуру гриба *E. cristatum* выращивали на биомассе листьев Кипрея, а симбиотическую культуру, выделенную из напитка «Комбуча», использовали в качестве инокулята для засева экстрактов листьев Кипрея с добавлением сахарозы.

Для микробной ферментации *E. cristatum* использовали листья Кипрея, уже прошедшего ферментацию собственными окислительными ферментами. Засев биомассы ферментированных листьев Кипрея проводили суспензией спор *E. cristatum*. Поскольку гриб *E. cristatum* считается ксерофитом, то во время проведения ферментации влажность была 20%, длительность ферментации составляла 14 суток, температура 28°C. Рост культуры контролировался визуально, подсчетом типичных золотистых колоний на листьях.

Для изучения возможности культивирования *Medusomyces gisevii* проводили экстракцию из измельчённых ферментированных листьев Кипрея водой температурой 90°C при гидромодуле 1:250 в течение 10 минут. Полученный экстракт отделяли от листьев фильтрованием, вносили сахарозу и использовали в качестве питательной среды для выращивания культуры *Medusomyces gisevii*. Ферментацию проводили 14 суток. Для изучения влияния состава питательной среды и параметров ферментации был проведён ряд экспериментов, в которых содержание экстрактивных веществ листьев Кипрея в питательной среде варьировалось от 1 до 5% и концентрация сахарозы – от 2 до 18%. Для определения влияния на рост культуры температуры проводили ряд экспериментов с диапазоном температур ферментации

от 7 до 35°C.

Поскольку основным продуктом ферментации при культивировании *Medusomyces gisevii* являются органические кислоты, то контроль развития культуры осуществлялся по величине титруемой кислотности. Данные, полученные в этой серии экспериментов представлены на рисунках 2,3,4.

Динамику кислотообразования определяли при параметрах культивирования, выбранных в предыдущих экспериментах – концентрация сахара – 6%, концентрация экстрагируемых веществ листьев Кипрея 2%, температура культивирования 20°C.

Полученные продукты – листья Кипрея, ферментированные *E. cristatum* выращенные при температуре 28°C и ферментированные культурой *Medusomyces gisevii* экстракты листьев Кипрея были использованы для получения напитков, в которых были определены физико-химические и органолептические показатели.

В напитках были определены содержание сухих веществ, титруемая кислотность, окислительно-восстановительный потенциал, содержание фенольных соединений методом ВЭЖХ.

Учитывая, что многие микроорганизмы, как показывают последние исследования, синтезируют биогенные амины, была изучена способность гриба *E. cristatum* к ассимиляции и продуцированию этих соединений. Для этого гриб культивировали на листьях Кипрея, получали экстракт и определяли образовавшиеся биогенные амины методом ВЭЖХ.

Поскольку при использовании мицелиальных

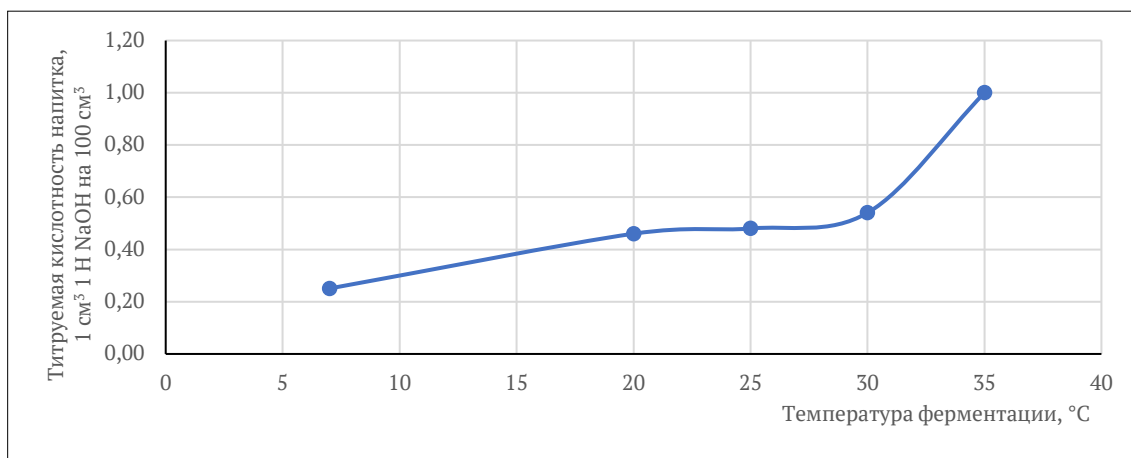


Рисунок 2. Влияние температуры ферментации на титруемую кислотность напитка

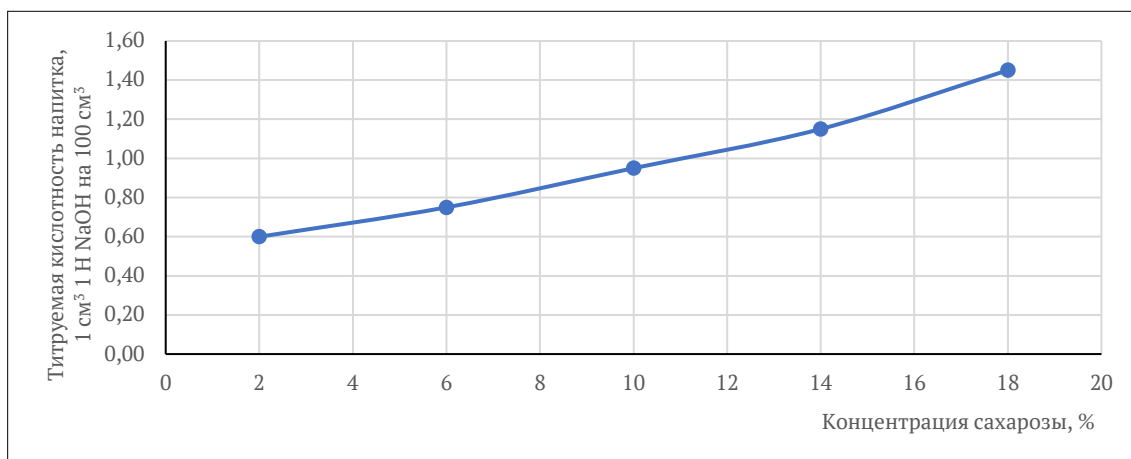


Рисунок 3. Влияние концентрации сахарозы в питательной среде на титруемую кислотность напитка

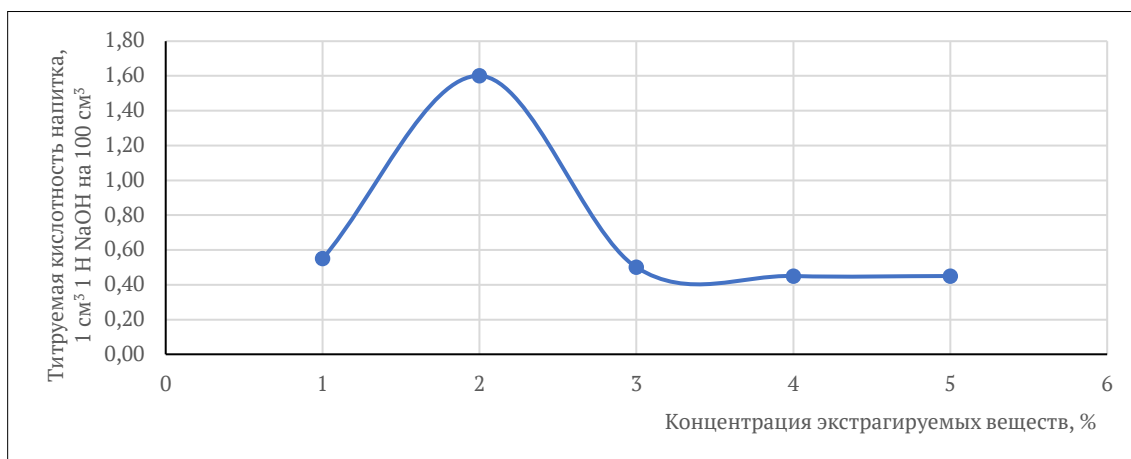


Рисунок 4. Влияние концентрации экстрагируемых веществ листьев Кипрея на титруемую кислотность напитка

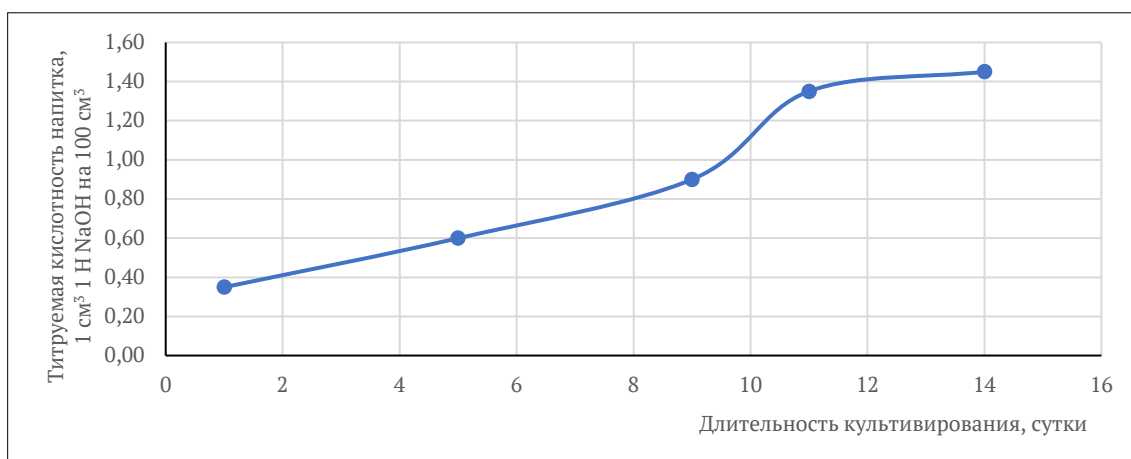


Рисунок 5. Влияние длительности ферментации на титруемую кислотность напитка

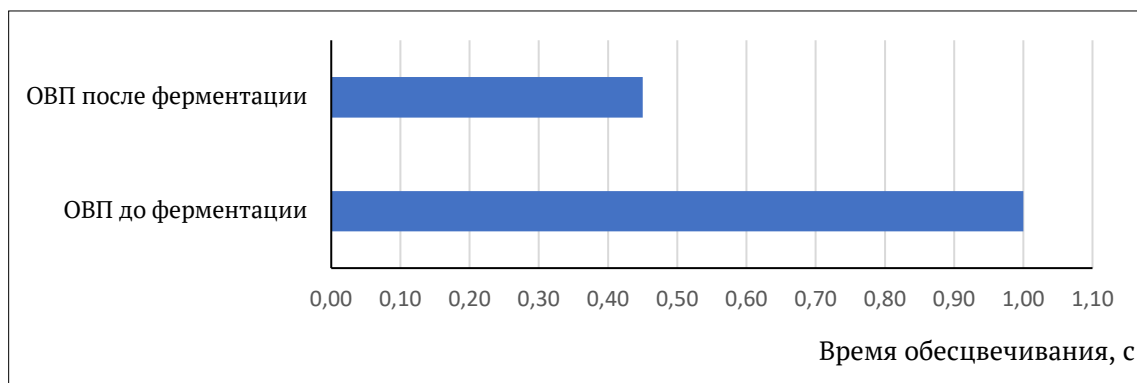


Рисунок 6. Влияние ферментации *E. cristatum* на окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) листьев Кипрея

Таблица 1

Влияние ферментирования листьев Кипрея на состав фенольных соединений

Фенольное соединение (мкг/мл)	Листья Кипрея	
	До ферментации	После ферментации
Галловая кислота	258,0	261,8
Сиреневая кислота	3,77	2,51
Ванилиновая кислота	3,076	2,02
Ванилин	3,7	3,71
Сиреневый альдегид	1,77	3,13
Синаповая кислота	4,17	8,81
Конифероловый альдегид	1,91	0,00
Синаповый альдегид	2,65	0,00
Итого:	279,05	281,98

Таблица 2

Содержание биогенных аминов в среде культивирования *E. cristatum*

Биогенные амины, пикомоль/мл	Образцы	
	Кипрей	Кипрей, ферментированный <i>E. cristatum</i>
Дегидроксифенилаланин (предшественник дофамина) (DOPA)	1251.45	0.00
Дофамин (DA)	9567.56	8.25
Норадреналин (NA)	0.00	11.54
Адреналин (A)	0.00	0.00
Дигидроксифенилуксусная кислота (DOPAC)	962.02	103.34
3-метокси-тирамин (3MT)	0.00	108.42
Гомованилиновая кислота (HVA)	857.01	70.25
Серотонин (5HT)	523.13	1458.94
Дигидроксииндолил-уксусная кислота (5HIAA)	2781.04	36.56

грибов необходимо подтвердить безопасность продукта, то была изучена способность *E. cristatum* продуцировать микотоксины. Для этого гриб культивировали на плотной питательной среде и в биомассе гриба определяли содержание микотоксинов методом ВЭЖХ. Данные по содержанию микоток-

синов представлены в таблице 3.

Органолептическая оценка напитков, полученных из листьев Кипрея, ферментированных *E. cristatum* и напитка Комбуча на основе листьев Кипрея приведены в таблице 4.

Обсуждение

Полученные экспериментальные данные подтвердили возможность использования микробных культур, выделенных из китайского чая Хэй Ча и напитка Комбуча для получения функциональных ферментированных напитков из Кипрея узколистного.

Проведённые исследования позволили выделить из чая Хэй Ча в виде чистой культуры гриб, который был идентифицирован как *Eurotium cristatum*, и из напитка Комбуча консорциум микроорганизмов, в котором доминирующими оказались дрожжи рода *Saccharomyces* и бактерии рода *Acetobacter*, что согласуется с литературными данными (Даниэлян, 2005).

Изучение свойств выделенного гриба показало его нетоксигенность, что подтверждено отсутствием микотоксинов в анализируемых образцах биомассы.

Интересной также представляется впервые обнаруженная способность гриба *E. cristatum* поглощать из среды нейротрансмиттер дофамин и обогащать её серотонином. Это позволяет рекомендовать напитки, полученные с использованием *E. cristatum* как успокаивающие и гармонизирующие, снимающие нервное напряжение.

Изучение влияния параметров ферментации на

динамику роста исследуемых культур позволило выбрать режимы, обеспечивающие получение готовых продуктов – постферментированного Кипрея и ферментированного экстракта Кипрея с хорошими органолептическими свойствами.

При ферментации листьев Кипрея грибом *E. cristatum* наилучший результат был получен при температуре 28°C, влажности среды 20% и длительности 14 суток. При ферментации экстракта листьев Кипрея смешанной культурой *Medusomyces gisevii* – при температуре 20°C, концентрации сахарозы 6%, концентрации сухих веществ в экстракте листьев Кипрея 2% и длительности 14 суток.

При выборе параметров ферментации *Medusomyces gisevii* в качестве основного критерия использовали органолептические показатели, что позволило получить напиток с хорошими потребительскими свойствами.

Изучение состава полученного ферментированного Кипрея показало, что при ферментации *E. cristatum* в нем протекают окислительно-восстановительные процессы, приводящие к изменению состава фенольных соединений и повышению антиоксидантной активности. Аналогичные процессы, протекающие при ферментации листьев *S. Sinensis* грибом *E. cristatum* описаны в литературных источниках (Zhang et al., 2013).

Таблица 3

Способность гриба *Eurotium cristatum* продуцировать микотоксины

Микотоксины	Содержание в исследуемом образце, мкг/г
Афлатоксин В ₁	Не обнаружено
Патулин	Не обнаружено
Дезоксиниваленол	Не обнаружено
Зеараленон	Не обнаружено

Таблица 4

Органолептическая оценка напитков

Вид ферментации	Внешний вид	Запах	Вкус
Окислительная ферментация (исходное сырьё)	Прозрачный раствор, Светло-янтарного цвета	Интенсивный травяной аромат, с цветочными нотками	Слабовыраженный водянистый, терпкий с кислинкой
Микробная ферментация <i>E. cristatum</i>	Светло-янтарного цвета	Гармоничный цветочный с травяными нотками	Слабовыраженный гармоничный, сладковатый с небольшой терпкостью
Микробная ферментация <i>Medusomyces gisevii</i> (концентрация сахарозы 6%; концентрация растворённых веществ Кипрея 2%)	Слабо опалесцирующий светло-жёлтый	слабый кислый аромат с травяным оттенком	слабый сладкий вкус с приятным кислым привкусом и слабым травяным оттенком, слабо газированный

Полученные результаты позволяют предположить, что выделенные микроорганизмы могут быть использованы для обогащения функциональными микробными метаболитами не только Кипрея, но и листьев других растений. Это позволит расширить сырьевую базу и спектр функциональной направленности напитков лечебно-профилактического и специального назначения.

Выводы

Полученные результаты позволяют выдвинуть предположение, что выделенные микробные культуры могут использовать в качестве субстрата не только листья Чайного куста (*Camellia sinensis*) и Кипрея узколистного (*Chamaenerion angustifolium*), но и другие растения, в том числе растения средней полосы России. Расширение сырьевой базы позволит создать линейку напитков с новыми функциональными свойствами.

Литература

- Алиева, Е. В., Болтачева, К. М., Тимченко, Л. Д., Бондарева, Н. И., & Добрыня, Ю. М. (2018). Антибактериальный потенциал и перспективы использования чайного гриба. *Ульяновский медико-биологический журнал*, 4, 166-171.
- Афоница, С. Н., Лебедева, Е. Н., & Сетко, Н. П. (2017). Биохимия компонентов чая и особенности его биологического действия на организм. *Оренбургский медицинский вестник*, 4(20), 17-32.
- Барабой, В. А. (2008). Катехины чайного растения: структура, активность, применение. *Биотехнология*, 3, 25-36.
- Веревкина, М. Н., Светлакова, Е. В., Поветкин, С. Н., & Пруцаков, С. В. (2010). Природные микробные ассоциации. *Ветеринария Кубани*, 4, 10.
- Валов, Р. И. (2012). *Фармакогностическое исследование надземной части Chamaenerion angustifolium (L.) Scop.* [Кандидатская диссертация]. Улан-Удэ. Россия.
- Даниэлян, Л.Т. (2005). *Чайный гриб и его биологические особенности*. Медицина.
- Добрыня, Ю. М., Аванесян, С. С., Бондарева, Н. И., Тимченко, Л. Д., Ржепаковский, И. В., & Симеёва, Е. И. (2015). Динамика амилалитической активности культуральной жидкости *Medusomyces gisevii* (чайного гриба) в процессе культивирования. *Современные проблемы науки и образования*, 3, 568.
- Жарикова, Г. Г., & Козьмина, А. О. (2001). *Микробиология, санитария и гигиена пищевых продуктов*. Гелан.
- Кароматов, И. Д. (2014). Чайный гриб и его использование в лечебной практике. *European science review*, 3, 47-49.
- Каххорова, С. И. (2018). Лечебные свойства чайного гриба. *Биология и интегративная медицина*, 1, 381-394.
- Кравченко, Л. В. (2011). Влияние экстракта зеленого чая и его компонентов на антиоксидантный статус и активность ферментов метаболизма ксенобиотиков у крыс. *Вопросы питания*, 2, 9-15.
- Мальцев, П. М. (1976). *Химико-технологический контроль производства солода и пива*. Пищевая промышленность.
- Маслов, Л. Н. (2007). О перспективах применения флавоноидов для профилактики атеросклероза и атеротромбоза. *Клиническая фармакология и терапия*, 3, 60-67.
- Мелкадзе, Р. Г. (2008). Взаимосвязь биохимических показателей ферментации с качеством чая. *Пиво и напитки*, 4, 56-57.
- Олескин, А. В., & Роговский, В. С. (2017). Роль биогенных аминов во взаимодействии микробиоты, нервной и иммунной систем организма-хозяина. *Вестник восстановительной медицины*, 1(77), 41-51.
- Покорн, Д. (1998). *Полная энциклопедия лечебного питания*. Олма-пресс.
- Племенков, В. В. (2007). *Химия изопреноидов*. Издательство алтайского университета.
- Рогожин, В. В. (2012). *Биохимия растений*. Гиорд.
- Сотников, В. А., & Марченко, В. В. (2014). Напиток «Чайный гриб» и его технологические особенности. *Пищевая промышленность*, 12, 49-52.
- Царёв, В. Н., Базарнова, Н. Г., & Дубенский, М. М. (2016). Кипрей узколистный (*Chamaenerion angustifolium* L.) химический состав, биологическая активность. *Химия растительного сырья*, 4, 15-26.
- Шендеров, Б. А., & Доронин, А. Ф. (2004). Чай и кофе - основа для создания функциональных напитков и продуктов питания. *Пиво и напитки*, 2, 94-97.
- Ahmad, R., Butt, M., Sultan, M., Mushtaq, Z., Ahmad, S., Dewanjee, S., De Feo, V., & Zia-Ul-Haq, M. (2015). Preventive role of green tea catechins from obesity and related disorders especially hypercholesterolemia and hyperglycemia. *Journal of Translational Medicine*, 13, 79. <http://dx.doi.org/10.1186/s12967-015-0436-x>
- Blackburn, C.D.W. (2006). *Food spoilage microorganisms*. CRC Press.
- Cheynier, V. (2005). Polyphenols in food are more complex than often thought. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81, 223S-229S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.223S>
- Du, F.-Y., Li, X.-M., Li, Ch.-Sh., Shang, Zh., & Wang, B.-

- G. (2012). ChemInform Abstract: Cristatamins A-D, New Indole Alkaloids from the Marine-Derived Endophytic Fungus *Eurotium cristatum* EN-220. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 22, 4650-4653. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2012.05.088>
- Jarrell, J., Cal, T., & Bennett, J. W. (2000). The Kombucha consortia of yeasts and bacteria. *Mycologist*, 14, 166-170. [https://doi.org/10.1016/S0269-915X\(00\)80034-8](https://doi.org/10.1016/S0269-915X(00)80034-8)
- Jayabalan, R., Malbasa, R.V., Loncar, E. S., & Vitas, J. S. (2014). A review on kombucha tea – microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 538–550.
- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., & Sathishkumar, M. (2016). Kombucha. *Reference Module in Food Science*, 11, 422. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03032-8>
- Kusano, R., Matsuo, Y., Saito, Y., & Tanaka, T. (2015). Oxidation mechanism of black tea pigment theaflavin by peroxidase. *Tetrahedron Letters*, 56, 5057-5144. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2015.07.037>
- Mak, J. C. (2012). Potential role of green tea catechins in various disease therapies: Progress and promise. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 39, 265–273.
- Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., Čanadanović-Brunet, J. M. (2011). Influence of starter cultures on the antioxidant activity of kombucha beverage. *Food Chemistry*, 127, 1727-1731. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.048>
- Paquin, P. (2009). *Functional and speciality beverage technology*. Woodhead Publishing.
- Peng, Y., Xiong, Z., Li, J., Huang, J.-A., Teng, C., Yushun, G., & Liu, Zh. (2014). Water extract of the fungi from Fuzhuan brick tea improves the beneficial function on inhibiting fat deposition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65, 610 – 614. <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.898253>
- Villarreal-Soto, S.A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchart, J.-P., & Taillandier, P. (2018). Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review. *Journal of Food Science*, 83(3), 580–588. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14068>
- Zhang, L., Zhang, Zh.-zh., Zhou, Y., Ling, T., & Wan, X.-Ch. (2013). Chinese dark teas: Postfermentation, chemistry and biological activities. *Food Research International*, 53, 600-607. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.016>

Use of Microbial Cultures in Functional Beverages Technology

Aleksandr A. Ryndin

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: aleksandr-ryndin@rambler.ru*

Elena F. Shanenko

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: eshanenko@yandex.ru*

Tatyana G. Muhamedjanova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: tatyana.muhamedjanova@yandex.ru*

Artem G. Grishin

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: grishin3@gmail.com*

Kirill A. Veselkov

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: kirich996@gmail.com*

Anastasiya S. Konstantinova

*Moscow State University of Food Production
11 Volokolamskoe highway, Moscow, 125080, Russian Federation
E-mail: alko41596@gmail.com*

Tea is a traditional drink for many nations of the world. In countries of the East, in addition to traditional types of tea, drinks obtained by microbial fermentation of the leaves of a tea plant were used. An example is Chinese tea Hei Cha and a drink obtained by fermenting tea extract - Kombucha. Microbial cultures used for fermentation gave drinks additional functional properties. The purpose of this study was to study the microscopic fungi used in the Hei Cha tea technology and the association of bacteria and yeast from the Kombucha drink, followed by a study of the possibility of their use for producing fermented drinks. Microscopic fungi identified as *E. cristatum* were isolated from Hei Cha tea samples; *Acetobacter* bacteria and *Saccharomyces* yeast were extracted from Kombucha. The effect of the composition of fermented raw materials and cultivation modes on the growth and development of isolated microorganisms was studied. The optimal fermentation parameters were determined and a technological scheme was developed for producing a finished fermented product based on *Chamaenerion angustifolium* (narrow-leaved fireweed). It was shown that the microorganisms used do not synthesize mycotoxins, are capable of synthesizing antioxidants and B vitamins and others. In drinks obtained by fermentation of leaf extracts of *Camellia sinensis* (Chinese camellia), *Chamaenerion angustifolium* (narrow-leaved fireweed), the content and composition of biogenic amines, amino acids phenolic compounds and antioxidants. A beverage formulation was developed using isolated microbial cultures, which include honey, malt wort, grape juice, mate, and coffee as additional ingredients. Product safety has been confirmed by microbiological analysis. The resulting drinks have a rich color, a pleasant aroma, a sweet and sour taste with fruit tones.

Key words: fungus, associations of bacteria and yeast, Hei Cha, Kombucha, functional beverages, safety

How to Cite

Ryndin, A. A., Shanenko, E. F., Muhamedjanova, T. G., Grishin, A. G., Veselkov, K. A., & Konstantinova, A. S. (2019). Use of Microbial Cultures in Functional Beverages Technology. *Health, Food & Biotechnology*, 1(3). <https://doi.org/10.36107/hfb.2019.i3.s268>

References

- Aliev, E. V., Boltacheva, K. M., Timchenko, L. D., Bondareva, N. I., Dobrynya, Yu. M. (2018). Antibacterial potential and prospects for the use of Kombucha. *Ul'yanovskij mediko-biologicheskij zhurnal* [Ulyanovsk Medical Biological Journal], 4, 166-171.
- Afonina, S. N., Lebedeva, E. N., & Setko, N. P. (2017). Biochemistry of tea components and the features of its biological effect on the body. *Orenburgskij medicinskij vestnik* [Orenburg Medical Journal], 4(20), 17-32.
- Baraboy, V. A. (2008). Tea plant catechins: structure, activity, application. *Biotehnologiya* [Biotechnology], 3, 25-36.
- Verevkina, M. N., Svetlakova, E. V., Povetkin, S. N., & Prutsakov, S. V. (2010). Natural microbial associations. *Veterinariya Kubani* [Veterinarian Kuban], 4, 10.
- Valov, R.I. (2012). Farmakognosticheskoe issledovanie. Nadzemnoj chasti *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop [Pharmacognostic study. The aerial part of *Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop] [Candidate dissertation]. Ulan-Ude. Russia.
- Danielyan, L. T. (2005). *Chajnyj grib i ego biologicheskie osobennosti* [Kombucha and its biological features]. Medicina.
- Dobrynya, Yu. M., Avanesyan, S. S., Bondarev, N. I., Timchenko, L. D., Rzhepakovsky, I. V., & Simecheva, E. I. (2015). Dynamics of the amylolytic activity of the culture fluid of *Medusomyces gisevii* (Kombucha) during cultivation. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 3, 568.
- Zharikova, G. G., & Kozmina, A. O. (2001). *Mikrobiologiya, sanitariya i gigiena pishchevyh produktov* [Microbiology, sanitation and food hygiene]. Gelan.
- Karomatov, I. D. (2014). Kombucha and its use in medical practice. *European science review*, 3, 47-49.
- Kakhkhorova, S. I. (2018). The healing properties of Kombucha. *Biologiya i integrativnaya medicina* [Biology and Integrative Medicine], 1, 381-394.
- Kravchenko, L. V. (2011). The effect of green tea extract and its components on the antioxidant status and activity of xenobiotic metabolism enzymes in rats. *Voprosy pitaniya* [Nutrition Issues], 2, 9-15.
- Maltsev, P.M. (1976). *Himiko-tekhnologicheskij kontrol' proizvodstva soloda i piva* [Chemical and technological control of malt and beer production]. Pishchevaya promyshlennost'.
- Maslov, L. N. (2007). On the prospects for the use of flavonoids for the prevention of atherosclerosis and atherothrombosis. *Klinicheskaya farmakologiya i terapiya* [Clinical Pharmacology and Therapy], 3, 60-67.
- Melkadze, R. G. (2008). The relationship of biochemical parameters of fermentation with the quality of tea. *Pivo i napitki* [Beer and drinks], 4, 56-57.
- Oleskin, A. V., & Rogovsky, V. S. (2017). The role of biogenic amines in the interaction of microbiota, nervous and immune systems of the host body. *Vestnik vosstanovitel'noj mediciny* [Bulletin of Restorative Medicine], 1(77), 41-51.
- Pokorn, D. (1998). *Polnaya enciklopediya lechebnogo pitaniya* [The complete encyclopedia of clinical nutrition]. OLMA PRESS.
- Plemenkov, V. V. (2007). *Himiya izoprenoidov* [Chemistry of isoprenoids]. Altai University Press.
- Rogozhin, V. V. (2012). *Biohimiya rastenij* [Biochemistry of plants]. Giord.
- Sotnikov, V. A., & Marchenko, V. V. (2014). Kombucha drink and its technological features. *Pishchevaya promyshlennost'* [Food Industry], 12, 49-52.
- Tsarev, V. N., Bazarnova, N. G., & Dubensky, M. M. (2016). Narrow leaf fireweed (*Chamaenerion angustifolium* L.) chemical composition, biological activity. *Himiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Materials], 4, 15-26.
- Shenderov, B. A., & Doronin, A. F. (2004). Tea and coffee are the basis for creating functional drinks and food. *Pivo i napitki* [Beer and drinks], 2, 94-97.
- Ahmad, R., Butt, M., Sultan, M., Mushtaq, Z., Ahmad, S., Dewanjee, S., De Feo, V., & Zia-Ul-Haq, M. (2015). Preventive role of green tea catechins from obesity and related disorders especially hypercholesterolemia and hyperglycemia. *Journal of Translational Medicine*, 13, 79. <http://dx.doi.org/10.1186/s12967-015-0436-x>
- Blackburn, C.D.W. (2006). *Food spoilage microorganisms*. CRC Press.
- Cheyrier, V. (2005). Polyphenols in food are more complex than often thought. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81, 223S-229S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/81.1.223S>
- Du, F.-Y., Li, X.-M., Li, Ch.-Sh., Shang, Zh., & Wang, B.-G. (2012). ChemInform Abstract: Cristatamins A-D, New Indole Alkaloids from the Marine-Derived Endophytic Fungus *Eurotium cristatum* EN-220. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 22, 4650-4653. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2012.05.088>
- Jarrell, J., Cal, T., & Bennett, J. W. (2000). The Kombucha consortia of yeasts and bacteria. *Mycologist*, 14, 166-170. [https://doi.org/10.1016/S0269-915X\(00\)80034-8](https://doi.org/10.1016/S0269-915X(00)80034-8)
- Jayabalan, R., Malbasa, R.V., Loncar, E. S., & Vitas, J. S. (2014). A review on kombucha tea – microbiology, composition, fermentation, beneficial effects, toxicity, and tea fungus. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13, 538-550

- Jayabalan, R., Malbaša, R. V., & Sathishkumar, M. (2016). Kombucha. *Reference Module in Food Science*, 11, 422. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03032-8>
- Kusano, R., Matsuo, Y., Saito, Y., & Tanaka, T. (2015). Oxidation mechanism of black tea pigment theaflavin by peroxidase. *Tetrahedron Letters*, 56, 5057-5144. <https://doi.org/10.1016/j.tetlet.2015.07.037>
- Mak, J. C. (2012). Potential role of green tea catechins in various disease therapies: Progress and promise. *Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology*, 39, 265–273
- Malbaša, R. V., Lončar, E. S., Vitas, J. S., Čanadanović-Brunet, J. M.(2011). Influence of starter cultures on the antioxidant activity of kombucha beverage. *Food Chemistry*, 127, 1727-1731. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.048>
- Paquin, P. (2009). *Functional and speciality beverage technology*. Woodhead Publishing.
- Peng, Y., Xiong, Z., Li, J., Huang, J.-A., Teng, C., Yushun, G., & Liu, Zh. (2014). Water extract of the fungi from Fuzhuan brick tea improves the beneficial function on inhibiting fat deposition. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65, 610 – 614. <https://doi.org/10.3109/09637486.2014.898253>
- Villarreal-Soto, S.A., Beaufort, S., Bouajila, J., Souchart, J.-P., & Taillandier, P. (2018). Understanding Kombucha Tea Fermentation: A Review. *Journal of Food Science*, 83(3), 580–588. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14068>
- Zhang, L., Zhang, Zh.-zh., Zhou, Y., Ling, T., & Wan, X.-Ch. (2013). Chinese dark teas: Postfermentation, chemistry and biological activities. *Food Research International*, 53, 600-607. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2013.01.016>

