

На правах рукописи



СУВОРОВ ОЛЕГ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**НАУЧНЫЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ
ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ**

Специальность 05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Москва – 2021

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств» (ФГБОУ ВО «МГУПП»)

Научный консультант: **Лабутина Наталья Васильевна**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет
пищевых производств», заведующий кафедрой зерна,
хлебопекарных и кондитерских технологий

Официальные оппоненты: **Елисеева Людмила Геннадьевна**,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Российский экономический университет
им. Г.В. Плеханова», профессор кафедры
товароведения и товарной экспертизы

Мусина Ольга Николаевна,
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический
университет им. И.И. Ползунова», профессор кафедры
технологии продуктов питания

Позняковский Валерий Михайлович,
доктор биологических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный
медицинский университет», профессор кафедры
гигиены, руководитель научно-образовательного центра
прикладной биотехнологии и нутрициологии

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Кубанский государственный
технологический университет»**

Защита состоится «23» июня 2021 г. в 10⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 212.148.11 на базе ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» по адресу: 125080, Москва, А-80, Волоколамское шоссе, д. 11, корп. А, ауд. 302.

Отзывы (в двух экземплярах) на автореферат, заверенные гербовой печатью учреждения, просим направлять в адрес диссертационного совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств». Полный текст диссертации размещен в сети Интернет на официальном сайте ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» <http://www.mgupp.ru>.

Автореферат размещен в сети Интернет на официальных сайтах ВАК при Минобрнауки России (<https://vak.minobrnauki.gov.ru>) и ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств» (<http://www.mgupp.ru>).

Автореферат разослан «___» _____ 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат технических наук, доцент

Кусова Ирина Урузмаговна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Одним из главных направлений обеспечения национальной безопасности России является продовольственная независимость. Увеличение объемов производства продуктов питания, ресурсосбережение и укрепление конкурентоспособности пищевой промышленности невозможны без внедрения прогрессивных высокоэффективных и экологических решений для обеспечения качества продовольственных товаров на этапах их жизненного цикла, включающего технологию.

Согласно докладу «Проблемы глобальной пищевой промышленности» ООН (2013 г.), более трети всех произведенных продуктов выбрасывается. До 2 млрд т продовольствия пропадает из-за несовершенного хранения, перепроизводства и чрезмерных оптовых заказов. Ежегодно до 10 % пищевых продуктов не соответствуют нормам по санитарно-микробиологическим показателям. По данным ВОЗ («Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире – 2018»), ежегодно около 1,8 млн человек умирает вследствие опасных пищевых инфекций, вызванных *Escherichia coli*, *Listeria*, *Salmonella* и другими микроорганизмами. Причиной заболеваний также являются токсичные химикаты и чистящие средства, оказывающиеся в составе продуктов. Опасные микроорганизмы почвы, воды, животных и людей переносятся через руки и кухонные принадлежности, и при контакте могут поступать в пищу. Транспортирование по трубопроводным линиям делает воду небезопасной вследствие образования микроорганизмами биопленок.

На основе системного подхода к обеспечению безопасности продуктов общественного питания при минимизации химических рисков возможен переход к высокоэффективному производству, достижению целей охраны здоровья человека и будущих поколений, профилактики пищевых отравлений и прерывания путей передачи инфекции. Повышение безопасности пищевого сырья и продуктов и снижение потерь при использовании высокоэффективных физико-химических методов будут способствовать решению вопросов продовольственной безопасности, сокращению ущерба окружающей среде и увеличению эффективности работы предприятий.

Изложенная концепция актуальна для реализации положений федеральных законов № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» (с изм. на 13.07.2020 г.), № 492-ФЗ «О биологической безопасности в Российской Федерации» (от 30.12.2020 г.) и ГОСТ Р ИСО 22000-2019 «Системы менеджмента безопасности пищевой продукции. Требования к организациям, участвующим в цепи создания пищевой продукции». Развитие научно-исследовательской базы и реализация практических задач по повышению качества питания являются социально-значимым и приоритетным направлением государственной политики, что нашло отражение в Стратегии повышения качества пищевой продукции до 2030 г. (утв. распоряжением Правительства РФ от 29.06.2016 г. № 1364-р).

Степень разработанности темы. В настоящее время проведен ряд исследований по решению проблем технологического обеспечения безопасности и качества сырья и пищевых продуктов с помощью физико-химических методов. Так, потребность в улучшении санитарно-микробиологических показателей сырья привела к поиску способов регулирования жизнедеятельности микроорганизмов с применением наноразмерных частиц серебра (НЧС). Перспективам и проблемам пищевых нанотехнологий в России посвящены работы следующих авторов: И.В. Гмошинского, А.В. Жердева, Н.В. Зайцевой, К.И. Попова, В.А. Тутельяна, С.А. Хотимченко, E. Bouyer, Z.G. Chen, M. Guzman, V. Litvin, K. Yamamoto, Y. Wang и др. Значительная часть работ по-

священа определению механизма воздействия наночастиц на микробиоту и их безвредность. Использование НЧС при зернопереработке и обработке дрожжей изучено недостаточно.

Исследования в области электрофизического бесконтактного воздействия проводились В.Е. Добромировым, И.С. Конториной, С.В. Макеевым, Ю.М. Порозовс, Е.И. Рубцовой, С.В. Шаховым, D.M. Petkovic, S. Rajputa, C. Rivera, S.U. Sarnobata, V.B. Stankovic и др. Применение электростатического поля (ЭСП) и обработки (ЭСО) в отношении продуктов питания и обеззараживания водных растворов проработано не в полном объеме.

Экологически чистым методом предотвращения микробиологической контаминации объектов индустрии питания можно считать использование электрохимически активированных растворов (ЭХАР). Принципы метода и свойства ЭХАР подробно описаны в работах основателя научно-технического направления В.М. Бахира. Возможностям применения ЭХАР в широком спектре областей посвящены труды П.А. Кирпичникова, А.И. Мирошникова, И.М. Осадченко, А.П. Томилова, Т.А. Харламовой, Т.Е. Cloete, N. D'Atanasio, K.A. Fabrizio, M. Ozaki, T. Ohshima, J.S. Swan, J. Zhang и др. Механизмы влияния метастабильных ЭХАР на биоструктуры разного уровня организации в целях обеспечения биологической безопасности и повышения эффективности АПК изучены А.Г. Погореловым.

Однако теоретические обоснования и прикладные аспекты применения перечисленных выше физико-химических методов и технологических средств в индустрии питания на современном этапе ее развития также изучены недостаточно. Учитывая достижения науки и технологий, представлялось целесообразным расширение сфер приложения таких методов, как сублимация, криообработка и низкотемпературная плазма (НТП), позволяющих обеспечивать пролонгацию сроков годности пищевых продуктов при заданных характеристиках их качества.

Таким образом, совершенствование системы обеспечения качества и потребительских свойств продуктов питания на этапах их жизненного цикла (ЖЦ) является магистральным направлением развития прикладной науки, имеющим социальное и стратегическое значение, что особенно актуально при росте пищевых и водных инфекций. Диссертация ориентирована на решение важной народнохозяйственной задачи – обеспечение населения доступными экологически безопасными и высококачественными пищевыми продуктами, что согласуется с основным принципом государственной политики, ставящим заботу о здоровье и продолжительности жизни человека на первое место.

Цель работы – разработка научно-обоснованного подхода к повышению биологической безопасности и обеспечению качества продуктов общественного питания посредством включения в технологический процесс высокоэффективных физико-химических методов и средств с использованием электрохимически активированных растворов, низкотемпературной плазмы, наноразмерных частиц бактерицидного действия, криотехнологии, сублимационной сушки и электростатической обработки. Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**.

1. На основании анализа научно-технической информации о состоянии и тенденциях развития индустрии питания при обеспечении качества и безопасности разработать риск-ориентированный процессный подход на этапах жизненного цикла продуктов.

2. Определить методологию использования физико-химических методов и средств (ЭХАР, НТП, НЧС, криотехнология, сублимационная сушка и ЭСО) для

обеспечения биологической безопасности производства продуктов и организации общественного питания.

3. Разработать модель Парето-эффективного производства продовольственных товаров на этапах их жизненного цикла с использованием системного подхода к повышению безопасности и конкурентоспособности.

4. Оценить безопасность, обосновать необходимость и разработать методы подавления микробной контаминации зерна и регенерируемых дрожжей с применением НЧС.

5. Разработать ресурсосберегающие технологические решения на основе ЭХАР, НТП и криотехнологии для обеспечения безопасности и пролонгации срока годности продовольственного сырья растительного и животного происхождения.

6. Обосновать обеспеченность требуемых потребительских характеристик сырья и продуктов общественного питания при хранении с применением методов сублимационной сушки и ЭСО.

7. Разработать высокоэффективные и экологичные приемы обеззараживания объектов АПК и индустрии питания с помощью дезинтеграции биопленки микроорганизмов метастабильными оксидантами.

8. Провести производственные испытания и промышленную апробацию результатов исследований и предложенных технико-технологических решений, анализ социальной значимости и экономической эффективности при обеспечении безопасности и комплексного ресурсосбережения в индустрии питания.

Научная концепция заключается в развитии существующих и научно-практическом обосновании новых подходов и приемов повышения биологической безопасности продуктов питания и сырья на этапах их жизненного цикла с использованием электрохимически активированных растворов, низкотемпературной плазмы, наноразмерных частиц серебра, криотехнологии, сублимационной сушки и электростатической обработки, позволяющих контролировать бактериальную контаминацию и прерывать пути передачи инфекции.

Научная новизна

1. Научно обоснована разработка модели Парето-эффективного производства продовольственных товаров на этапах их жизненного цикла. Установлено компромиссное множество и определено решение технологической задачи оптимизации по нескольким критериям – совокупности показателей качества пищевых продуктов.

2. Теоретически обоснованы параметры физико-химических методов обеспечения биологической безопасности пищевых продуктов с использованием риск-ориентированного подхода на этапах их жизненного цикла и контроля контаминации *B. subtilis*, *E. coli*, *L. monocytogenes* и другими микроорганизмами. Выявлена максимальная эффективность использования физико-химических методов обработки сырья и продуктов при сохранении традиционной технологии общественного питания.

3. Выявлены новые данные о трехмерной архитектуре и функциях колонии микроорганизмов в форме модельной биопленки, образованной композицией молочнокислых бактерий (МКБ) и кишечной палочки (*E. coli*). Определена зависимость устойчивости биопленки к действию слабоминерализованной (менее 0,9 г/дм³) анолитной фракции ЭХАР и щелочных средств в протоке и в застойной зоне от содержания метаболически неактивных персистеров бактериальных клеток и способности микроорганизмов формировать многослойные структуры, защищенные биополимерным матриксом.

4. Показан механизм удаления бактериальной пленки, образованной МКБ и кишечной палочкой при последовательном воздействии восстановленного и окисленного ЭХАР – католита и анолита – и сцепления бактерий *E. coli* с микрорельефом поверхности посредством поверхностных нитевидных структур бактериальной клетки – фимбрий (*Fimbriae*) длиной от 0,5 до 4 мкм.

5. Установлена зависимость, позволяющая определить необходимый расход НЧС (10–15 нм) для соответствия нормируемым характеристикам микробиоты зерна при мгновенном эффекте и после хранения. Выявлены минимальные ингибирующие концентрации (МИК) в отношении бактерии *B. subtilis*. Обнаружено селективное влияние НЧС на дрожжевые (*S. cerevisiae*) и бактериальные (*B. cereus*, *E. coli*, *M. varians*) микроорганизмы в зависимости от их концентрации и агрегатного состояния модельной среды культивирования. По-видимому, более плотная структура мембраны дрожжей обуславливает их относительную резистентность к НЧС.

6. Теоретически обоснованы параметры, влияющие на повышение эффективности сублимационной сушки пищевого сырья, и ЭСО для пролонгации срока годности и обеспечения качества продуктов питания. Установлена взаимосвязь между активацией и ингибированием микроорганизмов и напряженностью ЭСП.

7. Получены новые данные и установлена зависимость бактерицидного эффекта НТП в отношении бактерий *L. monocytogenes* на поверхности продуктов и биопленок *in vitro* от продолжительности обработки с эффективностью до 99 %.

Теоретическая и практическая значимость работы

Теоретическая значимость. Научно обоснован максиминный подход и определена поверхность Парето-эффективных фронтов в критериальном пространстве оценок с учетом накладываемых спецификаций. Введение в практику высокоэффективного комплекса технологических решений повышения суммарной потребительской ценности позволит достичь их Парето-эффективного, гарантированного уровня на каждой из стадий жизненного цикла продуктов питания и обеспечить биологическую безопасность цепи создания продовольственных товаров.

На основе комплексного исследования способов обеззараживания и степени дезинтеграции микробных биопленок разработан унифицированный алгоритм изучения биопленкообразования на внутренней поверхности модельного трубопровода. С использованием бактериологического анализа и морфологического изучения биопленки методами сканирующей электронной микроскопии, молекулярно-генетического анализа и масс-спектропии получены данные, свидетельствующие о высокой эффективности ЭХАР в отношении МКБ и *E. coli*.

Установлены минимальные ингибирующие концентрации НЧС при воздействии на бактериальные микроорганизмы *B. cereus*, *E. coli*, *E. herbicola*, *L. brevis*, *M. varians*, *P. clausenii*, *P. fluoresces* в твердых и жидких питательных средах. Показано, что внесение НЧС в заданных концентрациях не влияет на процессы роста и накопления биомассы дрожжевых клеток, останавливая размножение бактерий.

Практическая значимость. Экспериментально подтверждена высокая эффективность применяемых физико-химических способов обработки пищевого сырья и продуктов питания, способствующих пролонгации их срока годности, повышению безопасности и ресурсосбережению на этапах производства, хранения и реализации.

Созданы испытательные стенды для формирования и удаления микробной биопленки, моделирующие трубопровод сложной конфигурации с турбулентным потоком жидкости и застойными зонами. Разработаны способы дезинтеграции микробной биопленки и приемы обеззараживания объектов индустрии питания посредством ис-

пользования ЭХАР для повышения безопасности и пролонгации срока годности сырья и готовых продуктов. Разработанные способы исследования биообрастания и дезинтеграции защищены четырьмя патентами №№ 178083, 179657, 188140, 194989.

Выявлена эффективная концентрация НЧС для ингибирования развития спорообразующих форм бактерий *B. subtilis*. Разработан метод удаления НЧС из зерновой массы. Показана эффективность обработки НЧС в процессе культивирования (48 ч) дрожжей *S. cerevisiae* в присутствии *B. cereus*, *E. coli*, *M. varians*. Способ антибактериальной обработки дрожжей (пат. № 2584603) позволяет избежать бактериальной контаминации при производстве кваса, пива, спирта, хлебобулочных изделий, хлебопекарных дрожжей. Показана возможность использования упаковок, содержащих бактерицидные НЧС, при реализации хлебобулочных изделий на базе Лечебно-реабилитационного клинического центра «Юдино» – филиала ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России (2016 г.).

Разработан способ антибактериальной обработки в отношении бактерий *L. monocytogenes* с применением низкотемпературной плазмы (на примере белокачанной капусты и биопленки *in vitro*).

Установлены режимы пролонгации срока годности и предотвращения процессов порчи продуктов методами сублимационной сушки и воздействия ЭСП. С учетом коэффициента пересчета срок годности продукта (на примере ягод клубники и малины) составляет 28 мес при температуре 5–25°C. Использование ЭСП напряженностью 80 кВ/м приводило к снижению числа жизнеспособных клеток на поверхности продукта (на примере блюда «Лангет с помидорами») в 6 раз с $6 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^3$ КОЕ/см³ и к ускорению процесса остывания. Разработанные погружной электростатический активатор и устройства для обеспечения безопасности полуфабрикатов, готовых блюд и жидких пищевых продуктов защищены тремя патентами №№ 163496, 170224, 173521.

Показано, что контроль контаминации *B. subtilis*, *E. coli*, *L. monocytogenes* и реализация методов прерывания путей передачи инфекции на объектах пищевой промышленности, продовольственной торговли и предприятиях общественного питания способствуют обеспечению биологической безопасности и снижению потерь при производстве и хранении сырья и продуктов.

Результаты исследований используются в учебном процессе подготовки бакалавров и магистров, обучающихся по направлениям «Технология продукции и организация общественного питания», «Продукты питания из растительного сырья»; подготовки кадров высшей квалификации МГУПП по направлению «Промышленная экология и биотехнологии», в программах непрерывного образования учителей, школьников старших классов, студентов колледжей Департамента образования и науки г. Москвы (2017–2020 гг., «Университетская среда для учителей», технологический профиль; «Университетские субботы»).

Разработанные рекомендации по применению метастабильных ЭХАР для обработки растительного сырья и продукции, помещений, оборудования на объектах пищевой промышленности, общественного питания, продовольственной торговли утверждены начальником управления развития отраслей сельского хозяйства Министерства сельского хозяйства и продовольствия Московской области (2019 г.).

Разработаны ТУ 10.13.14-087-37676459-2017 «Карпаччо из куриных грудок» и ТИ 56.29.19-006-02068634-2020 по применению ЭХАР на предприятиях общественного питания, пищевой и биотехнологической промышленности.

Результаты исследований использованы при реализации:

государственных контрактов и заданий:

№ 01.648.12.3023 «Разработка нормативно-методического обеспечения и средств контроля содержания и безопасности наночастиц в продукции сельского хозяйства, пищевых продуктах и упаковочных материалах» (2010–2011 гг.);

№ 10.163.2011 «Разработка и анализ моделей сотрудничества в сфере исследований и разработок компаний пищевой промышленности и профильными российскими вузами при формировании спроса на технологии, поисковые проблемно-ориентационные и прикладные работы» (2012 г.);

№ 4.8611.2013 «Разработка, исследование и анализ эффективности использования наноматериалов с биоцидными свойствами в хлебопекарной промышленности» (2013 г.);

№ 40.2511.2014К «Разработка и внедрение в систему питания населения инновационных специализированных пищевых продуктов в упаковке нового поколения, содержащей наночастицы бактерицидного и антиоксидантного действия» (2014 г.);

№ 2014-14-579-0001-043 «Разработка новых энергосберегающих технологий и процессов для вакуумной сублимационной сушки широкого спектра термолабильных материалов, создание на их основе опытно-промышленного образца сушильного устройства для пищевой промышленности и прикладной биотехнологии» (2014 г.);

проектов в рамках Грантов Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук:

№ МК-5220.2014.4 «Обеспечение микробиологической безопасности продуктов питания различных сроков хранения при использовании нано- и криотехнологий» (2014–2015 гг.);

№ МК-8362.2016.11 «Разработка комплексных технических и технологических решений для продления сроков годности, повышения эффективности использования, качества и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов растительного и животного происхождения» (2016–2017 гг.);

проектов при поддержке Российского научного фонда:

№ 16-16-00020 «Исследование механизмов влияния метастабильных электрохимически активируемых веществ на биологические системы разного уровня организации для разработки новых подходов к обеспечению микробиологической безопасности и повышению эффективности сельскохозяйственного производства» (2016–2018 гг.);

№ 17-76-20014 «Разработка экологически чистой системы обеззараживания объектов агропромышленного комплекса посредством электрохимически активированных растворов: архитектура, функция и дезинтеграция биопленок» (2017–2020 гг.);

№ 20-16-00019 «Развитие методов зеленой электрохимии для повышения эффективности пищевого производства: молекулярные, поликомпонентные и клеточные биологические мишени электрохимически активированного водного раствора» (2020–2022 гг.).

Результаты работы могут быть использованы как в научно-исследовательских и образовательных учреждениях пищевого профиля, так и в индустрии питания в целях решения комплексной проблемы управления качеством и микробной контаминацией сырья и продуктов.

Методология и методы исследования. Методология, теория и практика работы построены на принципах пищевой безопасности с использованием системного подхода, в основе которого лежит исследование объектов, как систем на этапах жизненного цикла, включая технологию производства. Для реализации поставленных задач применяли стандартные и специальные методы исследований свойств сырья, материалов и продуктов, проводили статистическую обработку полученных данных.

Методом лазерного динамического светорассеяния на анализаторе Nanotracs Zetatrac (Microtracs Inc, США) исследовали дисперсность НЧС в препаратах «Колло-

идное серебро Аджента» (ООО «КоролевФарм», Россия, экспертное заключение ФГБУ «НИИ питания» РАМН №72/Э-295/б-12 от 12.04.12 г. (в н.в. ФГБУН «ФИЦ питания и биотехнологии»), СГР RU.77.99.11.003.E.007989.05.12) и «КНД-С-К» (НПП ООО «Сентоза факторинг НП», Россия, ТУ 9154-001-77342998-14). Анализ содержания наноматериалов в составе продуктов и упаковочных материалов был выполнен в условиях специализированной эталонной нанолаборатории МГУПП. Для изучения распределения наноматериалов использовали атомно-силовые микроскопы NTEGRA Prima, Solver Next (НТ-МДТ, Россия), спектрофотометры СФ-56 (Россия), Evolution300 (ThermoScientific, США), атомно-адсорбционные спектрометры «СПЕКТР-5» (Россия), Квант Z ЭТА-Т (Кортек, Россия), ИК-спектрометр Spectrum 100 (Perkin Elmer, США).

При проведении микробиологических исследований сырья и пищевых продуктов руководствовались положениями ГОСТ ISO 13307-2015, ГОСТ ISO 7218-2015, ГОСТ 31747-2012, ГОСТ 10444.15-94. Спорообразующие бактерии рода *Bacillus* определяли по ГОСТ ISO 21871-2013. В работе применяли чистые культуры бактерий *Bacillus cereus* (*B. cereus*), *Bacillus subtilis* (*B. subtilis*), *Erwinia herbicola* (*E. herbicola*), *Escherichia coli* (*E. coli*), *Lactobacterium brevis* (*L. brevis*), *Micrococcus varians* (*M. varians*), *Pediococcus claussenii* (*P. claussenii*), *Pseudomonas fluoresces* (*P. fluoresces*), *Sarcina flava* (*S. flava*); дрожжей вида *Saccharomyces cerevisiae* (*S. cerevisiae*) рас rH и XII; мицелиальных грибов *Aspergillus niger* (*A. niger*), *Penicillium candidum* (*P. candidum*), *Rhizopus oryzae* (*R. oryzae*).

В качестве генератора низкотемпературной плазмы (НТП) для разработки метода борьбы с *Listeria monocytogenes* (*L. monocytogenes*) использовали установку MicroPlaster β на базе НИЦ эпидемиологии и микробиологии им. Н.Ф. Гамалеи (Лаборатория экологии возбудителей инфекций).

Пролонгация сроков годности продуктов общественного питания реализована методами криотехнологии и сублимации. Разработаны и протестированы стенды и установки оригинальной конструкции для электростатической обработки (ЭСО) сырья, пищевых продуктов, полуфабрикатов и готовых блюд (МГУПП).

Дезинфицирующее и технологическое вспомогательное средство «Анолит АНК СУПЕР» (анолитную фракцию ЭХАР нового поколения) вырабатывали на установке типа «СТЭЛ-АНК-СУПЕР» (ООО «Делфин Аква», Россия) путем электрохимической обработки раствора хлорида натрия в питьевой воде по ТУ 9392-001-30133733-2012 (СГР RU.77.99.88.002.E.006350.08.13; СГР RU.77.99.88.002.E.010872.12.15). Контроль качества ЭХАР проводили с помощью приборов METTLER TOLEDO (Швейцария), HANNA Instrument (США). Микроскопические исследования образцов продовольственного сырья проводили в проходящем свете с помощью микроскопов Axio Imager M1 (Zeiss, Германия), Микромед 2 (Россия). Бактерицидный лед для пролонгации срока годности рыбы готовили из анолитной фракции ЭХАР нового поколения (льдогенератор COOLEQ ZB-15AP, Китай).

В целях унификации условий испытаний модельных водопроводных линий использовали утвержденные Минздравом РФ коммерческие (НПО АО «Микроген», Россия) препараты бактерий *E. coli* («Колибактерин» – лиофильно высушенные бактерии кишечной палочки M-17, «Бификол» – лиофилизат биомассы активных штаммов бактерий *E. coli* M-17, ГКПМ № 240418 и *Bifidobacterium bifidum* 1, ГКПМ № 900791) и суспензию клеток МКБ препарата «Эвиталя» (ПРОБИОТИКА НПФ, Россия) – комплекс лиофильно высушенных штаммов МКБ: *Lactococcus lactis* ВКМ В-2232D; *Streptococcus thermophilus* ВКМ В-2237D; *Lactobacillus acidophilus* ВКМ В-1660;

Lactobacillus helveticus ВКМ В-842; *Propionibacterium freudenreichii* ssp. *Shermanii* ВКМ В-2233D. Моделью водной коммуникации, контаминированной условно-патогенными бактериями, служил трубопровод в составе стенда, засеянный чистой культурой *E. coli* из коллекции лаборатории Л.А. Железной (сектор генной инженерии Института теоретической и экспериментальной биофизики РАН, ИТЭБ РАН).

Фиксацию формирования и удаления биопленки осуществляли в световом микроскопе с высоким пространственным разрешением Альтами 105 (Россия). Клеточную популяцию биопленки и рельеф поверхности оценивали в режиме вторичных электронов (ускоряющее напряжение 10 кВ) с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-6390A (JEOL, Япония). Ультроструктурный анализ и оценка микробиологической чистоты проведены методами SEM, Real-time PCR и ToF-SIMS на базе ИТЭБ РАН (ЦКП «Структурно-функциональные исследования биосистем», лаборатория функциональной микроскопии биоструктур) и ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН (ЦКП «Анализ химических, биологических систем и природных материалов: масс-спектральная микроскопия и фемтосекундная лазерная микроскопия-спектроскопия»).

Положения, выносимые на защиту

– Модель Парето-эффективного производства продовольственных товаров, основанная на решении технологической задачи оптимизации по нескольким критериям – совокупности показателей качества пищевых продуктов;

– теоретическое и экспериментальное обоснование эффективности использования многопрофильного комплекса физико-химических методов обеспечения безопасности технологии продуктов общественного питания посредством риск-ориентированного подхода на этапах жизненного цикла и контроля контаминации *B. subtilis*, *E. coli*, *L. monocytogenes*;

– технологические приемы применения и метод удаления наноразмерных частиц серебра при микробиологической стабилизации зернового сырья и как селективного биоцидного агента при культивировании дрожжей *S. cerevisiae*;

– рациональные режимы применения электрохимически активированных растворов при обеспечении биологической безопасности и качества используемых сырьевых компонентов растительного и животного происхождения и цепи создания продуктов общественного питания;

– трехмерная архитектура, функции колонии микроорганизмов в форме модельной биопленки, сформированной композицией МКБ и кишечной палочки (*E. coli*), и их дезинтеграция биоцидными растворами широкого спектра действия;

– технико-технологические решения деконтаминации и пролонгации срока годности пищевых продуктов, полуфабрикатов и готовых блюд при использовании низкотемпературной плазмы, электростатической обработки и криотехнологий.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов обеспечивалась использованием современных методов исследования, совокупностью экспериментальных данных, полученных на сертифицированном метрологически поверенном оборудовании, применением статистических методов обработки и производственными испытаниями.

Основные положения диссертации доложены, обсуждены и опубликованы на международных конференциях, форумах и выставках:

China Hi-Tech Fair в составе объединенной экспозиции Минобрнауки России (Китай, г. Шэньчжэнь, 2013 г.); Gemeinsamen Konferenz von DGHM und VAAM (Германия, г. Дрезден, 2014 г.); «Инновационные технологии обеспечения безопасности и качества продук-

тов питания. Проблемы и перспективы», «Безопасность и качество продуктов питания. Наука и образование» (г. Москва, 2014 г.); Technology, Innovation and Entrepreneurship (Турция, г. Стамбул, 2015 г.); Nanosciences & Nanotechnologies (Греция, г. Салоники, 2016 г.); «Актуальные вопросы современных научных исследований», «Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации» (Беларусь, г. Минск, 2017 г.); «Достижения и перспективы современной науки», «Тенденции и инновации современной науки» (Казахстан, г. Астана, 2017 г.); «Идеи - Инновации - Новые разработки» IENA-2017 (Германия, г. Нюрнберг, 2017 г., диплом); «Биология – наука XXI века» (г. Пушино – 2017–2019 г.); «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность» (г. Севастополь – 2018, 2019 г.); «Вопросы науки и образования: теоретические и практические аспекты» (Чехия, г. Прага, 2019 г.);

на всероссийских и региональных научно-практических конференциях и выставках:
 «Юбилейная научно-практическая конференция МГУПП» (г. Москва, 2005 г.); «Современное хлебопекарное производство: перспективы развития» (г. Екатеринбург, 2011 г.); «Инновационные технологии в пищевой промышленности, товароведении и общественном питании» (г. Москва, 2013 г.); «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины» (г. Москва, 2013 г.); «Экспертиза, оценка качества, подлинности и безопасности пищевых продуктов» (г. Москва, 2013 г.); «Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд» (г. Москва, 2014 г.); «Товароведение, общественное питание и технологии хранения продовольственных товаров»; «Вопросы длительного хранения продовольственных товаров, товароведения и технологий общественного питания» (г. Москва, 2014 г.); «Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях» (г. Москва, 2014 г.); «Инновации в товароведении, общественном питании и длительном хранении продовольственных товаров» (г. Москва, 2015 г.); «Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века» (г. Краснодар, 2015 г.); «Пища. Экология. Качество» (г. Москва, 2015 г.; г. Красноярск, 2016 г.); «Пищевые инновации и биотехнологии» (г. Кемерово, 2016 г.); «Инновационные технологии в пищевой промышленности» (г. Самара, 2016 г.); «Прогрессивные технологии в индустрии питания» (г. Москва, 2016 г.); «Вопросы продовольственного обеспечения в XXI веке» (г. Москва, 2016 г.); «Фундаментальные и прикладные аспекты нутрициологии и диетологии. Качество пищи» (г. Москва, 2016 г.); «Качество и экологическая безопасность пищевых продуктов и производств» (г. Тверь, 2017 г.); «Пищевая индустрия и общественное питание: современное состояние и перспективы развития» (г. Самара, 2017 г.); «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука» (г. Москва, 2017 г.); «Научные труды Государственного Никитского ботанического сада» (г. Ялта, 2017 г.); «Актуальные вопросы биологической физики и химии» (г. Севастополь – 2017, 2018 г.); «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста» (г. Москва, 2018 г.); «Наука и инновации: векторы развития» (г. Барнаул, 2018 г.).

По материалам диссертационной работы опубликовано 99 печатных работ, в том числе 16 статей в изданиях, входящих в базу Web of Science или Scopus, 19 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ, 3 монографии (общим объемом 39,63 усл. печ. л.), 9 патентов РФ, 52 публикации в отраслевых периодических изданиях, сборниках научных трудов, материалах конференций и т.д.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения и 8 глав, в том числе аналитического обзора литературы, результатов исследований и их анализа, заключения, списка литературы, приложений.

Структурная схема исследования приведена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема проведения исследования

Диссертация изложена на 395 страницах, в том числе 365 основного текста, содержит 67 таблиц и 95 рисунков; библиографический список включает 601 наименование, в том числе 329 на иностранных языках. Личный вклад автора заключается в выборе стратегии исследования, определении цели, постановке и решении задач, планировании и проведении исследований, разработке новых подходов к решению экспериментальных задач, получении, обработке, обобщении результатов и использовании их на практике, разработке основных положений диссертации, выносимых на защиту. Основные результаты работы получены лично, под руководством или при непосредственном участии в составе научных групп, имена соавторов указаны в соответствующих публикациях.

Объектом исследования явился процесс комплексной организации повышения эффективности и безопасности на предприятиях АПК и общественного питания, предметом – прогрессивные физико-химические методы обработки продовольственного сырья растительного и животного происхождения, полуфабрикатов, готовых блюд или пищевых продуктов с использованием ЭХАР, НТП, НЧС, криотехнологии, сублимации и ЭСО.

Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности. Диссертационное исследование соответствует пп. 3, 4, 5, 8 и 14 паспорта научной специальности 05.18.15 – Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1 Анализ научно-технической информации о состоянии и тенденциях развития индустрии питания при обеспечении качества и безопасности и риск-ориентированный процессный подход на этапах жизненного цикла продуктов

Выполнен аналитический обзор научно-технической литературы и технической документации. Рассмотрены нормативные аспекты применения предлагаемых физико-химических методов обработки и наноразмерных средств в индустрии питания. Проведен анализ различных способов повышения пищевой безопасности, изучены факторы риска при хранении сырья и продуктов общественного питания, приведены перспективные методы продления срока годности пищевых продуктов. Проанализирована резистентность патогенных микроорганизмов к известным средствам и способам дезинфекции на предприятиях общественного питания и опыт создания методов обеззараживания. Описаны механизмы формирования микробной пленки, строение и свойства биопленок, стадии их прикрепления и созревания.

Изучены механизмы антимикробного действия и перспективы использования НЧС, физико-химических и криотехнологических методов при обеспечении качества, биологической безопасности пищевых производств и продуктов общественного питания. Освещены существующие технологии электрофизической обработки, современные сублимационные решения. Показано, что физические методы обработки с использованием безреактивных воздействий имеют значительные преимущества, но нуждаются в дополнительном исследовании вследствие рисков образования токсичных и канцерогенных соединений.

Проанализирован значительный отечественный и зарубежный опыт применения электрохимически активированных растворов в различных отраслях промышленности. На объектах индустрии питания ЭХАР можно считать наиболее безопасным средством химической дезинфекции, а технологию электрохимического синтеза соединений в метастабильном состоянии можно отнести к категории «зеленых». Несмотря на то, что определенные способы применения ЭХАР уже разработаны, фун-

даментальные и прикладные исследования механизмов влияния метастабильных средств на пищевые системы пока не проведены.

Таким образом, по итогам анализа состояния и тенденций развития отрасли при обеспечении качества и ресурсосбережения и синтеза данных теоретически обоснованы и подтверждены направления авторских исследований, их актуальность и целесообразность. Сформулирована проблема повышения безопасности продовольственного сырья и продуктов питания, требующая решения на основе комплексного изучения действия предлагаемых физико-химических методов обработки на технологические мишени индустрии питания с учетом современных требований к системе менеджмента безопасности пищевой продукции и риск-ориентированного подхода.

Глава 2 Методология использования физико-химических методов и средств (ЭХАР, НТП, НЧС, криотехнология, сублимационная сушка и ЭСО) для обеспечения биологической безопасности производства продуктов и организации общественного питания

Одной из основных проблем при организации общественного питания является обеспечение безопасности производственной цепи. Причинами заражения, выживания и/или размножения микроорганизмов являются:

- контаминация пищевого сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов, одежды и рук персонала, помещений, оборудования, воды и воздуха;
- формирование резистентных к дезинфектантам микроорганизмов, образование трудноудаляемых биопленок;
- употребление сырых и немытых продуктов;
- нарушение режимов приготовления (температура, продолжительность) и др.

Существующие методы обеззараживания кроме несомненных преимуществ, обладают рядом недостатков (таблица 1). Требуется разработка новых, экологичных и энергоэффективных технологий повышения безопасности продуктов питания.

Таблица 1 – Преимущества и недостатки наиболее распространенных средств обеззараживания на предприятиях

Средство	Преимущества	Недостатки
Гипохлорит натрия (класс опасности 3*)	Широкий спектр антимикробного действия; может быть произведен на месте применения; при хранении относительно безопасен	Теряет активность при хранении, риск накопления хлоратов, выделения газообразного хлора; образует при дезинфекции побочные тригалометаны; не способен удалять биопленки
Четвертичные аммонийные соединения (3)	Обладают эмульгирующей и смачивающей способностью; эффективны в отношении бактерий, грибов и вирусов; устойчивы в кислой и щелочной средах	Нет спороцидного эффекта; необходимость использования высоких концентраций для уничтожения грибов; повышение токсичности при температуре выше 45–50°C
Пероксид водорода (2)	Не образует токсичных продуктов распада; эффективен против бактерий, грибов, вирусов и спор; экологичен	Высокая коррозионная активность; отсутствие пролонгированного эффекта, неэффективен против биопленок; высокая стоимость
Надуксусная кислота (2)	Эффективна против бактерий, грибов, вирусов, спор; быстро действует при низких	Подходит только для кислотостойких поверхностей; 2-й класс опасности

	концентрациях и температурах; легко смывается	по ингаляционному воздействию; низкая стабильность
Диоксид хлора (2)	Не образует хлораминов; эффективен в отношении всех видов микроорганизмов; работает при пониженных дозах	Образует хлораты и хлориты; может приводить к появлению специфического запаха и вкуса; необходимость хранения легковоспламеняющихся веществ
Озон (1)	Сильный окислитель, дезинфектант; повышенная эффективность против вирусов, патогенов; удаляет посторонние привкусы и запахи	Расщепляет сложные органические соединения на вещества меньшей молекулярной массы (питательные компоненты для роста микроорганизмов); не обеспечивает «последствия»; требует значительных затрат
Ультрафиолет	Повышенная эффективность; не требуются хранение и транспортирование химикатов; не требуются специальные усло- вия обеспечения безопасности	«Поверхностное» воздействие; нет остаточного действия; требует значительных затрат
* Класс опасности вредных веществ по степени воздействия на организм по ГОСТ 12.1.007-76, где 1 – чрезвычайно опасные; 2 – высокоопасные; 3 – умеренно опасные; 4 – малоопасные.		

В исследовании использовали ЭХАР, НТП, НЧС, криотехнологии, сублимации и ЭСО для обеспечения биологической безопасности продуктов питания без внесения консервантов.

Антимикробные ЭХАР применяют для обеззараживания производственной среды и продуктов. Схема модуля ЭХА с указанием возможных реакций [Бахир, 2014] приведена на рисунке 2.

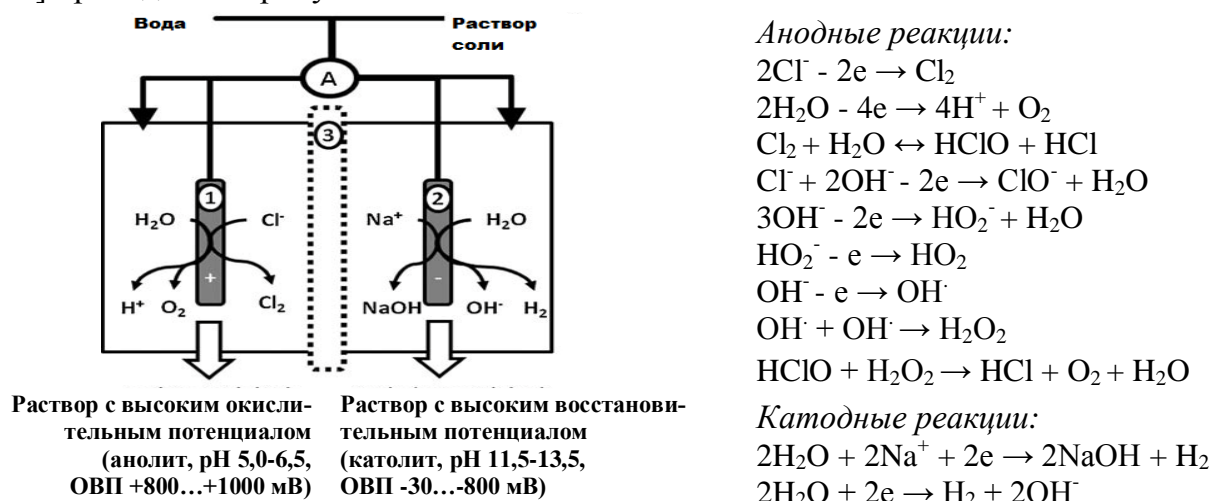


Рисунок 2 – Принципиальная схема модуля электрохимической активации водных растворов хлорида натрия

Перед использованием водные растворы хлорида натрия (А) переводят в метастабильное состояние с помощью электрохимической униполярной активации в диафрагменном электролизере (50 Гц, 220 В), где анод (1) и катод (2) разделены мембраной (3). При этом в анодной камере образуются высокоактивные окислители с выраженными биоцидными свойствами, а в катодной камере – насыщенные восстановители с высокой адсорбционно-химической активностью.

Активнодействующие вещества (АДВ) анолита – смесь оксидантов, эквивалентная по составу образующейся в иммунной системе организма при фагоцитозе. В качестве сырья для синтеза бесхлорного анолита (анолит-перокс) используется водный раствор гидрокарбоната натрия. Внедрение методов электрохимии в пищевые технологии без использования дополнительных реагентов позволит улучшить качество продуктов питания и повысить эффективность производства.

Для борьбы с патогенными микроорганизмами *Listeria monocytogenes* активно начинает применяться обработка низкотемпературной плазмой – слабоионизованной газовой смесью с температурой в пределах 10^5K . Использование плазмы обосновывается образованием ионов, радикалов и химически активных частиц, поэтому с ее помощью можно провести процессы в объеме или на поверхности. Практическое применение НТП для обработки продуктов питания требует исследований.

НЧС как антимикробное средство используются в различных отраслях. Однако внедрение наноразмерных частиц в пищевом производстве ограничивается требованиями безопасности при их применении, и необходимо отметить, что механизм и специфика действия НЧС в полной мере не изучены.

Криотехнологические решения способствуют сохранению качества пищевых продуктов, но не снижают риски микробиологической контаминации. Представляется перспективным комбинирование методов физико-химической обработки (например, с ЭХАР) с целью деконтаминации и пролонгации срока годности продукта. Сублимационная сушка является одним из наиболее эффективных методов сохранения продуктов с минимальными потерями пищевой ценности и органолептических показателей. При электростатической обработке образуется поле высокой напряженности, способное нарушать целостность клеточных мембран микроорганизмов и вместе с образующимся озоном обеспечивать снижение микробиологического обсеменения продуктов питания [Кузнецов, 2017]. Схема и блок ЭСО приведены на рисунке 3.

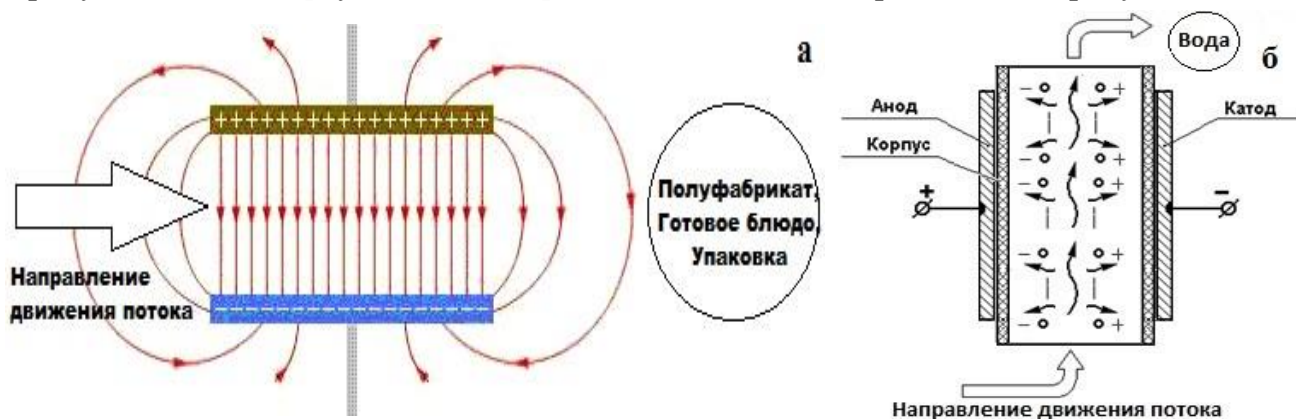


Рисунок 3 – Принципиальная схема (а) и устройство блока (б) электростатической обработки

Таким образом, в целях совершенствования технологических процессов и уменьшения потерь на стадиях переработки, реализации и транспортировки необходимы высокоэффективные методы обработки сырья и продуктов. Научно обосновано, что наиболее перспективными прогрессивными физико-химическими методами и технологическими приемами для обеспечения качества продуктов общественного питания в процессе их хранения и безопасности пищевой цепи являются электрохимическая активация, низкотемпературная плазма, наноразмерные частицы бактерицидного действия, криотехнология, сублимационная сушка и электростатическая обработка. Важным является использование системного подхода и к повышению эффек-

тивности производства и конкурентоспособности продуктов питания на всех этапах их жизненного цикла. Развитием исследования явилось моделирование Парето-эффективного производства продовольственных товаров.

Глава 3 Разработка модели Парето-эффективного производства продовольственных товаров на этапах их жизненного цикла с использованием системного подхода к повышению безопасности и конкурентоспособности

Несмотря на прогресс в пищевой индустрии, проблема биологической безопасности в последние годы приобретает все большую значимость. Так, антропогенные воздействия на окружающую среду «форсировали» эволюцию бактерий и привели к появлению контаминантов сырья и продуктов, резистентных к антибиотикам и с повышенной патогенностью. Резюмируя изложенное выше и анализируя общемировую статистику пищевых и водных отравлений, по данным ВОЗ, следует считать необходимым принятие мер по повышению безопасности как производства продуктов питания, так и самих пищевых продуктов и услуг общественного питания.

Разработана модель Парето-эффективного производства продовольственных товаров на этапах их жизненного цикла (ЖЦ). Проведена оценка обеспечения качества ЖЦ продукта на всех стадиях. Последовательно этапы ЖЦ продукта включают в себя следующие стадии: поле–переработка–производство–упаковка–хранение–реализация–отходы. Каждая из 7 стадий в системном подходе может быть описана макро-звеном со своими входами, выходами, а также внешними воздействиями среды. Звенья и связи между ними образуют систему сопровождения ЖЦ продукта.

В целях обеспечения выполнения требований качества и пищевой безопасности эта система представляется на 2-х уровнях: физическом (продукт на стадиях ЖЦ) и информационном (данные о продукте, оценка его качества). Рассмотрим отдельно произвольно макро-звено данной системы. У звена имеется два входа: физический (сырье для производства), информационный (данные о сырье в виде оценок его качества). Информационный вход представим упорядоченной четверкой векторных оценок качества $\mathbf{K} = \langle \bar{K}_1, \bar{K}_2, \bar{K}_3, \bar{K}_4 \rangle$, который является выходом предыдущего звена, где каждый \bar{K}_i ($i = 1, 2, 3, 4$) – вектор нормированных оценок по критериям – показателям качества продуктов [Красуля, 2015; Елисеева, 2019]:

- 1 – пищевой ценности;
- 2 – органолептических свойств;
- 3 – санитарно-гигиенических свойств (пищевой безопасности);
- 4 – физико-химических свойств (технологичности).

Упомянутые нормированные оценки – нормализованные оценки, то есть со шкалами с обезразмеренными единицами, а также приведенными к интервалу изменения $[0, 1]$. Необходимость нормализации вызвана тем, что оценки по соответствующим критериям могут быть приведены как в разных масштабах, так и в разных единицах. В этом смысле нормализация подразумевает приведение всех частных критериев к единому безразмерному виду.

Оценки $K_{ij} \in [0, 1]$ являются компонентами вектора \bar{K}_i и при использовании линейного способа нормализации могут быть вычислены по формуле $K_{ij} = \frac{k_{ij} - \min k_{ij}}{\max k_{ij} - \min k_{ij}}$, где k_{ij} – абсолютное (размерное) значение соответствующего показателя. Если не удастся определить $\min k_{ij}$ и $\max k_{ij}$, то оценка может быть вы-

числена по формуле $K_{ij} = k_{ij} / k_{ij}^B$, где k_{ij}^B – некоторое базовое (эталонное) значение оценки. В качестве базового значения, в частности, может выступать $\min k_{ij}$, $\max k_{ij}$, либо какое-то иное значение оценки. Базовое значение оценки играет роль единицы масштаба безразмерного критерия, при сохранении начала отсчета в нуле, то есть оценки k_{ij} и K_{ij} связаны интервальной шкалой отношений.

Далее определим некоторое сверточное правило, позволяющее вектору \bar{K}_i поставить в соответствие обобщенную оценку – скаляр L_i , которую то же будем считать нормированной ($0 \leq L_i \leq 1$). Таким образом, четверке $\mathbf{K} = \langle \bar{K}_1, \bar{K}_2, \bar{K}_3, \bar{K}_4 \rangle$ соответствует четверка $\mathbf{L} = \langle L_1, L_2, L_3, L_4 \rangle$.

Макро-звено этапа ЖЦ само представляет собой систему (рисунок 4), которая включает звенья (стадии) предобработки и производства, элементы сравнения (Ср) и оценивания (Оц), имеет физический и информационный вход–выход. Физический вход этапа является, в свою очередь, выходом предыдущего этапа, и может подвергаться воздействию внешних факторов, чаще негативно влияющих на качество и безопасность соответствующего продукта.

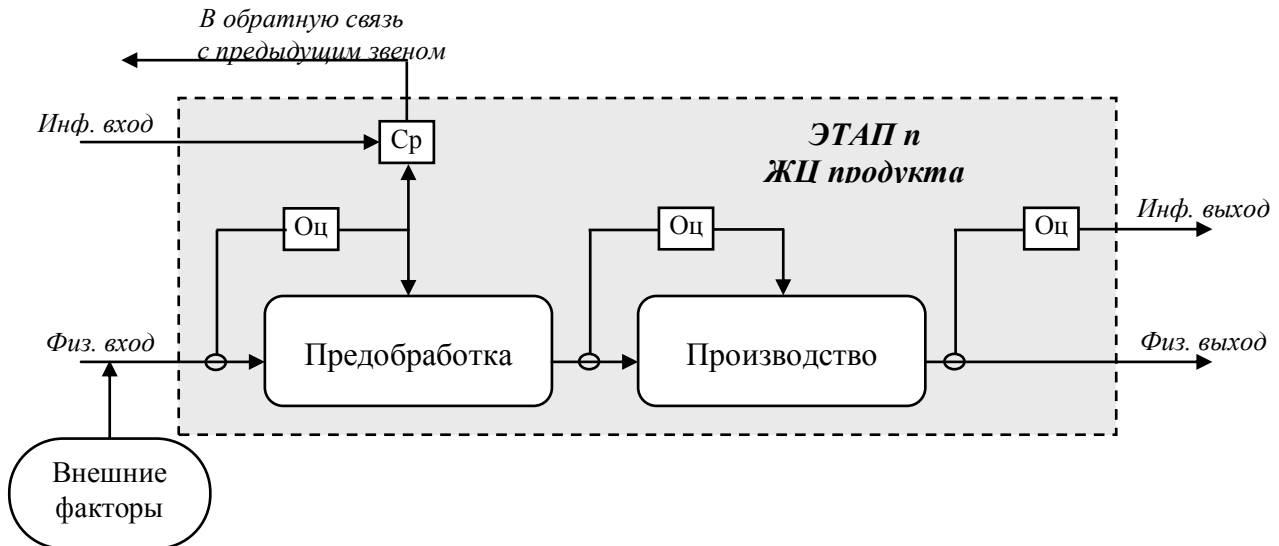


Рисунок 4 – Этап жизненного цикла продукта как система

Стадия предобработки может быть введена для обеспечения пищевой безопасности и ресурсосбережения, в частности, для минимизации возможной контаминации сырья микроорганизмами. Безусловно, удельные параметры предобработки (в частности, объем и концентрации веществ-агентов) влияют на качество входного сырья, то есть на оценки \mathbf{L} его текущих показателей качества. Определить решение – удельный объем агента (как и другие параметры предобработки) можно по изменениям оценок L_i от их текущих (стартовых) значений, исходя из максиминного принципа гарантированного результата: $x^* = \arg \max_{x \in X_P} \min_i L_i(x)$, где множество X_P – оптимально по Парето, $X_P \subseteq X$, здесь X – исходное множество решений.

В последней формуле x^* определяется как точка максимума нижней огибающей оценок $L_i(x)$, $x \in X_P$. На оценки k_{ij} и K_{ij} могут накладываться спецификации вида «не хуже», что переносится на оценки L_i в виде ограничений снизу $L_i \geq \underline{L}_i$ и

позволяет их учесть, построив сужение на исходном множестве решений $\underline{X} = \{x: L_i(x) \geq \underline{L}_i\}$, $\underline{X} \subseteq X$. Тогда с учетом спецификаций решение x^* следует искать на множестве $\underline{X} \cap X_P$. Графически поиск решения x^* по принципу гарантированного результата с учетом ограничений вида $L_i \geq \underline{L}_i$ приведен на рисунке 5.

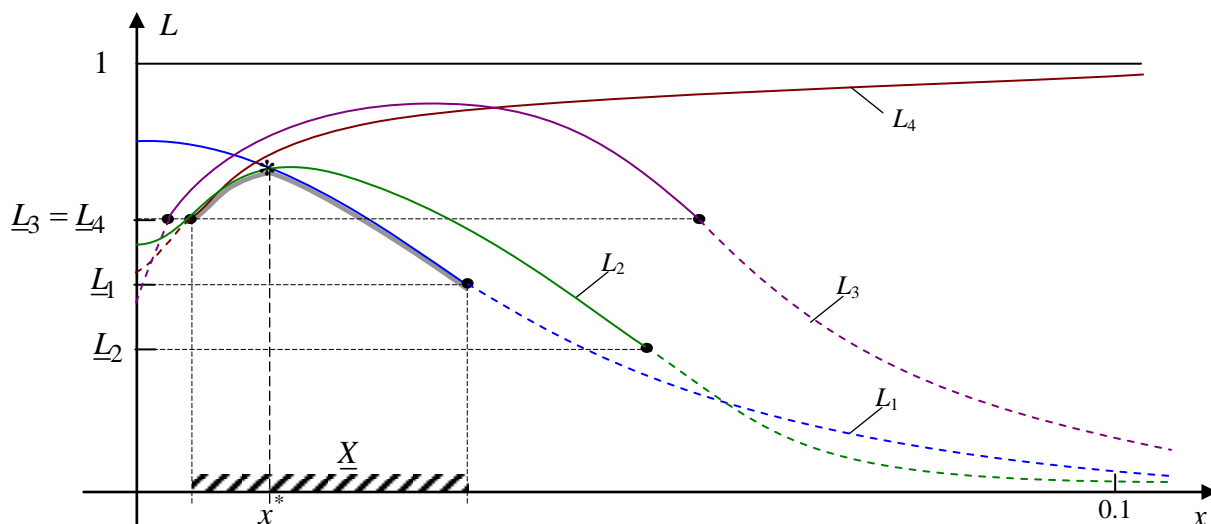


Рисунок 5 – Определение оптимального компромиссного уровня воздействия по принципу гарантированного результата

Например, Парето-оптимальное множество X_P совпадает с исходным множеством X , поэтому $\underline{X} \cap X_P = \underline{X}$. Показана точка x^* максимума нижней огибающей по графикам L_i , $i=1,2,3,4$ над множеством \underline{X} оценок, удовлетворяющих ограничениям (спецификациям). Эта точка компромиссного множества – чебышевское решение задачи оптимизации по нескольким критериям. Суть максиминного подхода состоит в «подтягивании худшей оценки», а значит в гарантии того, что оценки по остальным критериям будут не меньше оценки $L_{gap} = \min_i L_i(x^*) = \max_{x \in X_P} \min_i L_i(x)$.

В примере $L_{gap} = L_1(x^*) = L_2(x^*) < L_4(x^*) < L_3(x^*)$.

Кривые оценок, приведенные на рисунке 5, для одного и того же продукта могут изменяться в зависимости от его начального состояния до воздействия агентом (при $x=0$). В пространстве оценок $\mathbf{L} = \langle L_1, L_2, L_3, L_4 \rangle$, когда удельный объем x является параметром, изображению на рисунке 5 будет соответствовать кривая, являющаяся Парето-эффективным множеством точек или Парето-фронтом $L|_{t_0}$. Совокупность этих кривых для других начальных состояний продукта образует поверхность Парето-эффективных фронтов, а чебышевские решения L_{gap} представляют лежащую на ней кривую.

Поверхность Парето-фронтов в критериальном пространстве оценок $\mathbf{L} = \langle L_1, L_2, L_3 \rangle$ по первым трем критериям отражена на рисунках 6 и 7, где выделена цветом та часть, для точек которой выполняются условия, обусловленные спецификациями ($L \geq \underline{L}$). Выход n -го макро-звена этапа ЖЦ определяется по принципу $L^n = \min_i L_i^n$ как меньшая из оценок по критериям, где L_i^n – оценки из $\langle L_1, L_2, L_3, L_4 \rangle$, относящиеся к n -му звену.

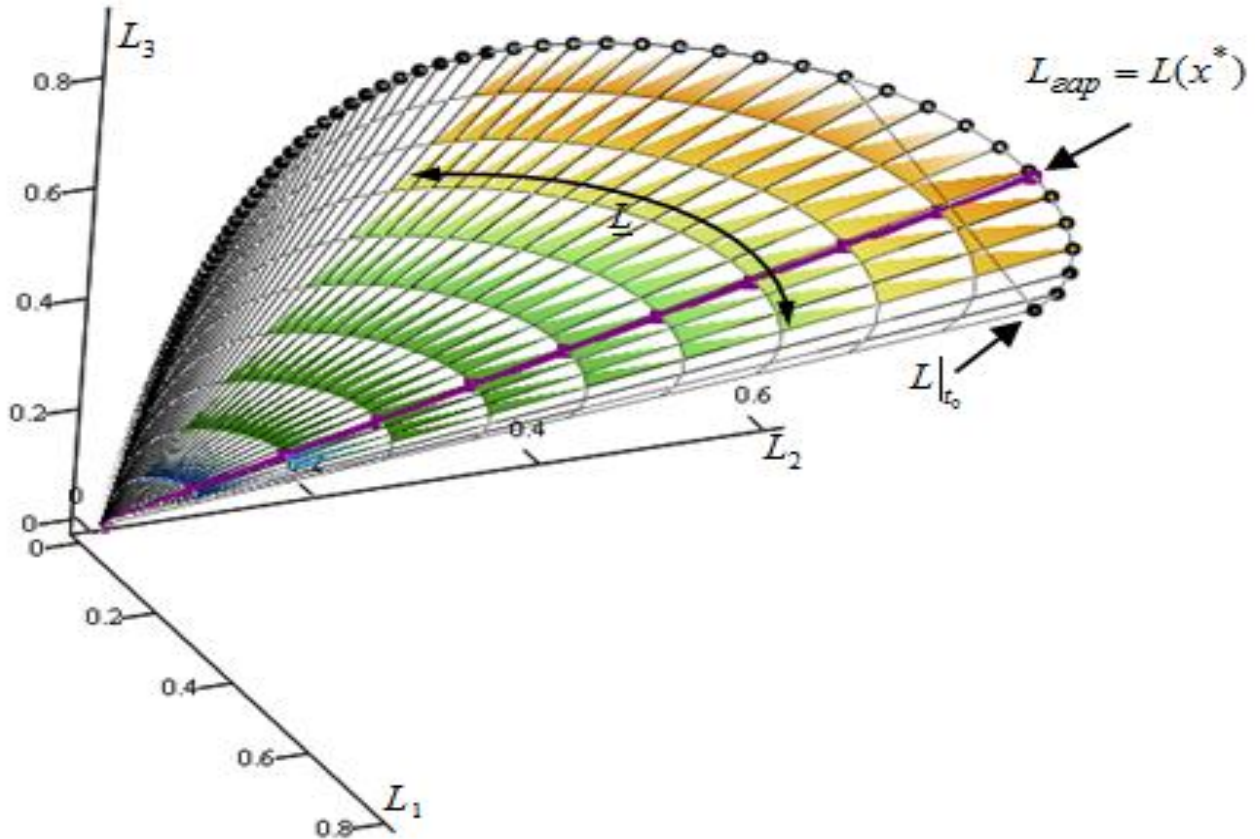


Рисунок 6 – Парето-эффективные фронты в критериальном пространстве оценок $\mathbf{L} = \langle L_1, L_2, L_3 \rangle$ по первым трем критериям

В случае применения описанного выше принципа, очевидно, что $L^n = L_{gap}^n$. При этом на общую оценку n -й стадии наложены ограничения снизу: $L^n \geq \underline{L}^n$, где \underline{L}^n – установленное значение качества выхода.

Предложим оценку качества всей цепочки стадий ЖЦ продукта, как системы с последовательным соединением блоков. Важность каждого звена оценивается весовым коэффициентом $w_n = w_{n-1} / (1 - \underline{L}_n)$, где $n = 1, \dots, N-1$, $N = 7$, возможно, кроме последней стадии, поскольку уровень утилизации отходов не зависит или мало зависит от качества продукта предыдущего звена. Последняя формула, по сути, утверждает, что важность каждой последующей стадии растет экспоненциально, подобно надежности блоков при работе системы с последовательным их соединением [Гарибян, 2013; Conal, 2020; Signur, 2020]. Тогда $w_n = \left(\prod_{s=1}^n (1 - \underline{L}_s) \right)^{-1}$, $n = 1, \dots, N-1$.

Нормирование этих весовых коэффициентов проводится стандартно $w_n^0 = w_n \left(\sum_{n=1}^{N-1} w_n \right)^{-1}$, $n = 1, \dots, N-1$. При оценке последнего 7 этапа, возможно, его вес следует принять равным $w_7 = 1 / (1 - \underline{L}_7)$, то есть не усиливать ответственность за ранее пройденные этапы.

Можно предложить следующую оценку $L \in [0, 1]$ качества всей цепочки стадий ЖЦ продукта $L = \sum_{n=1}^{N-1} w_n^0 L^n$.

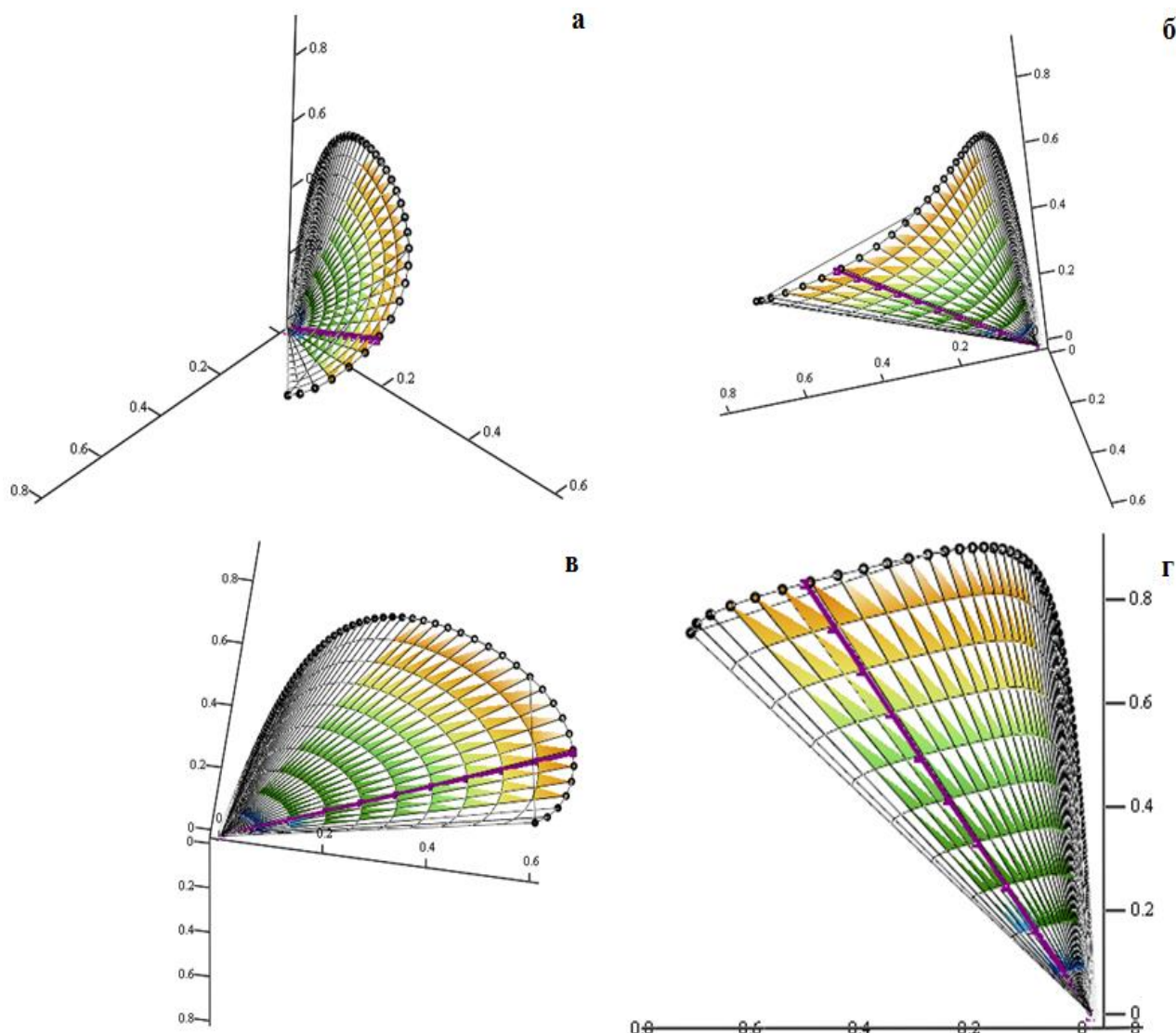


Рисунок 7 – Парето-эффективные фронты в критериальном пространстве оценок $\mathbf{L} = \langle L_1, L_2, L_3 \rangle$ для разных начальных состояний продукта (а–г)

Эта оценка, в случае успешного прохождения всех этапов, будет не ниже оценки \underline{L} : $L \geq \underline{L}$, где $\underline{L} = \sum_{n=1}^{N-1} w_n^0 \underline{L}^n$. Нормированная оценка L может быть приведена к

диапазону $[0,1]$, где левому краю соответствует \underline{L} , а правому: $\bar{L} = 1$, по формуле

$$L_{np} = \frac{L - \underline{L}}{1 - \underline{L}},$$

вида: «Удовлетворительно», «Хорошо», «Очень хорошо», «Отлично». Диапазоны, отвечающие данным качественным оценкам, могут быть различны, например, для квартилей кумулятивной кривой нормального распределения, соответствующие диапазоны выглядят так: $[0, 0.3255)$, $[0.3255, 0.5)$, $[0.5, 0.6745)$, $[0.6745, 1]$.

Предлагаемый подход Парето-эффективного производства продовольственных товаров успешно реализуется на предприятиях, когда изготовление одного товара не может быть улучшено без снижения качества или количества следующего продукта в их ЖЦ. При повышении технологии производства предприятие или увеличивает выпуск продуктов на базе имеющихся ресурсов, или, сохраняя объем, снижает расходы производства.

Таким образом, введение в практику прогрессивных физико-химических методов, обеспечивающих получение безопасных продуктов общественного питания наилучшего качества (или суммарной потребительской ценности), позволит достичь их Парето-эффективного, гарантированного уровня на каждой из стадий ЖЦ, и оценить качество работы производственной цепи. Согласно ГОСТ Р 15.000-2016 «Система разработки и постановки продукции на производство. Основные положения» жизненный цикл продукции включает технологию ее производства. Приоритетом при прогнозировании качества продуктов является обеспечение биологической безопасности продовольственного сырья и его последующее применение в индустрии питания с учетом Парето-эффективных фронтов в критериальном пространстве оценок и накладываемых спецификаций.

Глава 4 Оценка безопасности, обоснование необходимости и разработка методов подавления микробной контаминации зерна и регенерируемых дрожжей с применением наноразмерных частиц серебра

В связи с обостряющейся проблемой снижения качества и безопасности зерна, как одного из основных растительных ресурсов пищевых производств, принятие мер по микробиологической стабилизации зернового сырья является крайне важным в современном АПК [Мусина, 2018; Adley, 2016]. Применение препаратов НЧС в качестве бактерицидных и фунгицидных агентов видится перспективным ввиду широкого спектра их действия. Однако решение проблем контаминации зерна, как сырья для пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания, при обеспечении безвредности применения НЧС требует всестороннего изучения.

С учетом литературных данных об ингибирующем эффекте в отношении клеток мицелиальных грибов, как более резистентных к НЧС, подбирали концентрацию коллоидного препарата НЧС. Согласно [Зимон, 2012; Баландин, 2016; Sintubin, 2011; Подкораев, 2014], механизм ингибирования НЧС напрямую связан с их размером, способом получения и отношением площади поверхности к объему. Размер НЧС (препарат «Сентоза факторинг НП», Россия) определяли спектрофотометрическим методом. Максимум полосы поглощения плазменного резонанса составил 405 нм, что соответствует размеру частиц 10–15 нм [Krutyakov, 2008].

В работе коллоидные НЧС наносили распылением на обрабатываемое зерно (пшеница сорта *Дарья* и ячмень сорта *Скарлетт*) тонким слоем и тщательно перемешивали для обеспечения влажности не более 16 %. Образцы зерна помещали в термостат (30°C) на 6 нед (далее «ускоренное хранение»). Полученные данные описывались уравнением регрессии $Y = -70,99 \ln X - 119,4$, определяющим необходимый расход НЧС в количестве X г на 1 кг зерна (0,092 г/кг) для обеспечения решения поставленной задачи – недопущения превышения максимально допустимого содержания в зерне клеток мицелиальных грибов $Y=50$ КОЕ/г.

Значимость ингибирующего эффекта антимикробной обработки оценивали по критериям Стьюдента. Абсолютные погрешности вычисляли с уровнем надежности $P=0,95$. Проводили парный t -тест на отсутствие ингибирующего эффекта антимикробной обработки. В таблице 2 приведены полученные результаты, величины $T_{набл}$ и соответствующие им значения вероятностей отклонения (при $P < \alpha = 0,05$) 0-гипотезы (по умолчанию принимаемое предположение, что не существует связи между двумя наблюдаемыми событиями). Наблюдаемый эффект считали незначимым при принятии 0-гипотезы или при малой его относительной величине.

Таблица 2 – Микробиологические показатели зерновой массы пшеницы и ячменя, исходной и обработанной НЧС

Образец зерна		Плесень, КОЕ/г	КМАФАнМ, ·10 ³ КОЕ/г		БГКП (колиформы), КОЕ/г		
		Нормируемые характеристики					
		50		5		Не допускается в 0,1 г	
		пшеница	ячмень	пшеница	ячмень	пшеница	ячмень
<i>Исходное</i>	контроль	48,2±1,7	42,0±0,9	4,4±0,31	3,88±0,13	Не обнаружено	
	обработанное	47,0±0,9	40,6±0,8	2,29±0,26	2,1±0,10	Не обнаружено	
«Ускоренное хранение»	контроль	83,4±2,1	78,6±1,5	55,2±0,5	59,8±1,7	Не обнаружено	
	обработанное	48,4±1,2	44,6±1,5	3,76±0,15	3,5±0,09	Не обнаружено	
Сравниваемые образцы		Величины $T_{набл}$, P -значения вероятности отклонения 0-гипотезы					
<i>Исходные</i> (мгновенный эффект)		1,81 $p>0,05$	5,72 $p>0,05$	16,4 $p<0,05$	88,5 $p<0,05$	–	
<i>После «ускоренного хранения»</i> (эффект после хранения)		33,4 $p<0,05$	43,9 $p<0,05$	275,0 $p<0,05$	91,8 $p<0,05$	–	

Для удаления НЧС образцы зерновой массы (на примере обработанного ячменя) выдерживали в 0,15 % растворе NaOH (1–5 ч), щелочь сливали и зерно промывали водой. После фильтрации методом атомно-адсорбционной спектрометрии определяли остаточное содержание серебра в смывах (таблица 3).

Таблица 3 – Содержание серебра в исследуемых пробах после щелочной обработки

Продолжительность щелочной обработки, ч	Концентрация серебра, г/дм ³
0 – контроль (зерно после обработки НЧС)	$7,83 \times 10^{-3} \pm 0,04 \cdot 10^{-5}$
1	$(15,50 \pm 0,4) \cdot 10^{-5}$
2	$(9,63 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$
3	$(4,81 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$
4	$(2,92 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$
5	$(1,76 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}$

Концентрация серебра в сусле, полученном из проб ячменя, находившихся в растворе щелочи в течение 3–5 ч, не превышала $5 \cdot 10^{-5}$ г/дм³ (максимально допустимое в питьевой воде, СанПиН 2.1.4.1074-01). При 5-часовой обработке содержание серебра уменьшалось более чем в 400 раз. Количество серебра было менее $0,025 \cdot 10^{-3}$ г/100 г зерна, что не превышало допустимого суточного уровня потребления (70 мкг).

Кроме того, выполнен анализ возможности применения НЧС при создании упаковочных материалов с бактерицидными свойствами. Показано, что, наименьшее снижение общей деформации мякиша хлеба (от 4,7 мм до 3,6 мм) наблюдалось у образцов, приготовленных из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, упакованных в полиэтиленовую пленку с НЧС (криохранение 180 сут).

Приоритетом следующего этапа стала разработка способа антибактериальной обработки регенерируемых дрожжей посредством применения НЧС (10–15 нм). Степень антибактериальной активности препаратов НЧС определяли по величинам МИК для ряда грамотрицательных и грамположительных микроорганизмов (таблица 4).

Таблица 4 – Минимальные ингибирующие концентрации НЧС при воздействии на бактериальные микроорганизмы

Исследуемые микроорганизмы	МИК в питательной среде, г/дм ³	
	твердой	жидкой
<i>Bacillus cereus</i>	1,5·10 ⁻³	0,5·10 ⁻³
<i>Erwinia herbicola</i>	2,5·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³
<i>Escherichia coli</i>	2,5·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³
<i>Lactobacillus brevis</i>	2,5·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³
<i>Micrococcus varians</i>	2,0·10 ⁻³	0,5·10 ⁻³
<i>Pediococcus claussenii</i>	2,5·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³
<i>Pseudomonas fluoresces</i>	2,0·10 ⁻³	1,0·10 ⁻³

Исследование в твердых средах проводили луночно-диффузионным методом, а в жидких – с помощью контрольного посева на мясопептонный агар. Эффективность обработки НЧС оценивали при культивировании дрожжей *S. cerevisiae* в присутствии *B. cereus*, *E. coli* или *M. varians*. Количество дрожжевых клеток контролировали в течение 48 ч (таблица 5).

Таблица 5 – Накопление биомассы дрожжами *S. cerevisiae* при культивировании в жидкой питательной среде, содержащей бактериальные микроорганизмы

Время с начала культивирования, ч	Конт-роль	<i>Bacillus cereus</i>			<i>Escherichia coli</i>			<i>Micrococcus varians</i>		
		А	В	С	А	В	С	А	В	С
Количество клеток дрожжей, млн/см ³										
0	1,25	0,75	1,25	1,00	1,25	1,25	0,75	1,25	1,50	1,50
4	2,75	3,50	2,25	2,00	1,75	2,25	1,25	1,50	2,50	2,00
8	6,75	2,25	6,75	5,75	2,25	7,25	5,50	2,25	7,00	5,75
24	31,75	30,00	48,25	49,75	36,00	44,25	48,00	28,50	49,50	46,00
48	52,00	37,50	53,50	54,75	40,75	52,25	51,50	41,50	52,50	51,25

Контроль – отсутствие НЧС и клеток бактерий; образцы А – концентрация НЧС 0 г/дм³, В – 0,001 г/дм³, С – 0,002 г/дм³.

Показано, что внесение НЧС в питательную среду не подавляет процессы роста и накопления биомассы дрожжей при заданных концентрациях. Полученные результаты согласуются с данными литературы. Механизм действия НЧС на микроорганизмы обусловлен их адсорбцией, разрушением клеточной мембраны, нарушением барьерных и транспортных функций с последующей инактивацией ферментов и нарушением репликации ДНК [Mikhienkova, 2011; Yogesha, 2012; Balandin, 2015; Sadoon, 2020]. Поэтому повышенная, по сравнению с бактериями, резистентность к НЧС дрожжей, по-видимому, связана с более плотной структурой оболочки этих микроорганизмов, обеспечивающей сохранение жизнедеятельности дрожжей за счет блокады действия НЧС на уровне клеточной мембраны. Рабочие концентрации НЧС соответствовали нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 и Руководства ВОЗ по толерантному содержанию серебра в питьевой воде (менее половины уровня NOAEL за 70 лет жизни).

Таким образом, оценена возможность и предложен способ применения НЧС для повышения биологической безопасности зернового сырья в различных отраслях пищевой промышленности и общественном питании, в том числе при использовании цельного зерна, для изготовления хлебобулочных изделий, печенья, хлебцев, сухих

завтраков, салатов и овощных блюд, соусов, каш, напитков и других продуктов. Разработаны метод снижения содержания НЧС в обработанном зерне и способ антибактериальной обработки дрожжей. Достигнуто отсутствие контаминантных бактерий в биомассе дрожжей, а при обработке инфицированных дрожжей НЧС – количество КОЕ бактерий снижалось на 98,9 %. Предложенный метод (пат. № 2584603) эффективно снижает количество микробиоты контаминантов при производстве кваса, пива, спирта, хлебобулочных изделий, хлебопекарных дрожжей, не влияя на ферментирующие дрожжи.

Глава 5 Разработка ресурсосберегающих технологических решений на основе ЭХАР, НТП и криотехнологии для обеспечения безопасности и пролонгации срока годности продовольственного сырья растительного и животного происхождения

Потенциально опасные для здоровья человека вещества попадают и накапливаются в пищевых ингредиентах и продуктах на этапах производственной и кулинарной обработки [Позняковский, 2017; Fleetwood, 2019]. Существует риск заражения и после термообработки, так как создаются благоприятные условия для развития спор микроорганизмов, сохранившихся в сырье, продуктах, в воздушной среде помещений и переносимых на руках персонала. Согласно данным масштабных исследований, в 2006–2020 г. основными причинами вспышек кишечной инфекции в мире явилось употребление зелени. С едой передаются также возбудители листериоза, сальмонеллеза, дизентерии, норовирусной и ротавирусной инфекций и др.

Одним из наиболее экологичных способов обеззараживания как продуктов, так производственных помещений и оборудования в АПК, является использование ЭХАР нового поколения. На первом этапе изучали обеззараживающие эффекты гипохлорита натрия и анолитной фракции ЭХАР при обработке овощей. В контрольных образцах овощей плесень не выявлена, поэтому в опытных не определялась. Степень деконтаминации оценивали по показателю КМАФАнМ (таблица 6).

Таблица 6 – Результаты обработки овощей анолитной фракцией ЭХАР

Обработка овощей анолитом		КМАФАнМ, КОЕ/г			
		контроль (без обработки)	гипохлорит натрия	анолит и промывка водой	анолит
Листовой салат	мгновенный эффект	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^3$	Не выявлено
	14 сут хранения	$\geq 1 \cdot 10^8$	$\geq 1 \cdot 10^8$	$2 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^3$
Белокачанная капуста	I стадия обработки	$\geq 1 \cdot 10^8$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^3$
	II стадия обработки	-	-	-	$1 \cdot 10^2$

При микробиологическом исследовании листового салата эксперимент проводили с учетом требований МУК 4.2.1847-04, показатели контролировали в течение 14 сут хранения (в том числе 10 сут хранения и 4 сут резерва). Показано, что контрольный образец (без обработки обеззараживающими средствами и промыванием водой) не соответствовал требованиям безопасности к салатной продукции (согласно ТР ТС 021/2011 КМАФАнМ не более $1 \cdot 10^4$ КОЕ/г). При посеве образца, обработанного фракцией ЭХАР анолитом с концентрацией активного хлора 460 мг/дм^3 в течение 5 мин, наблюдалось полное отсутствие клеток бактерий. Обработка водным раствором гипохлорита натрия в сопоставимых режимах оказалась неэффективной: образец загрязнен меньше, чем контрольный, но общее микробное число (ОМЧ) превышает допустимое значение.

При исследовании образцов на 14 сут хранения было установлено, что наименьшее значение ОМЧ наблюдалось при обработке раствором анолита с концен-

трацией активного хлора 460 мг/дм^3 в течение 5 мин (ОМЧ $5 \cdot 10^3$ КОЕ/г). Наименее эффективна обработка раствором гипохлорита натрия: при посеве через 14 сут хранения наблюдался сплошной рост микроорганизмов, равно, как и у контрольных образцов. Органолептический анализ показал наличие постороннего запаха хлорсодержащих соединений, который исчезал после промывания в воде.

В эксперименте по обеззараживанию белокочанной капусты были учтены выявленные в опытах с листовым салатом недостатки (запах оксидантов, снижение микробиологической чистоты после финишного промывания водой). Поэтому использовали двухстадийную обработку анолитом с концентрацией активного хлора 100 мг/дм^3 в течение 10 мин, с последующим промыванием разбавленным анолитом во второй емкости (10 мг/дм^3 , 5 мин). В контрольном образце наблюдался сплошной рост колоний. В ходе сравнительного анализа действия анолитной фракции ЭХАР и раствора гипохлорита натрия (с концентрацией активного хлора 125 мг/дм^3 в течение 10 мин) установлено, что применение анолита было более эффективным: приводило к снижению КМАФАнМ (до $1 \cdot 10^2$ КОЕ/г) и не требовало смывания дезинфектанта водой. При использовании гипохлорита натрия происходило изменение цвета капусты и появление слабовыраженного запаха хлора.

На примере белокочанной капусты также изучена эффективность обработки низкотемпературной плазмой для снижения обсемененности при контаминации образцов бактериями *Listeria monocytogenes* – возбудителем заболевания листериоза, передающегося, в основном, через продукты питания (28 % от количества летальных исходов, вызванных патогенными микроорганизмами в пище).

Важнейшим механизмом адаптации *L. monocytogenes* является их способность к существованию и размножению в составе биопленок, являющихся составной частью жизненного цикла микроорганизмов и успешной стратегией защиты бактерий от различных факторов среды. В работе подобрана контаминирующая концентрация *L. monocytogenes* EGD (10^4 КОЕ/г). Определено, что при обработке низкотемпературной плазмой наблюдается значительное снижение числа листерий на внутренней стороне капустного листа. Уже при обработке НТП в течение 2 мин эффективность составляет более 90 %, а после 7 мин облучения погибает 99 % возбудителя.

Эффективность НТП в отношении биопленок *L. monocytogenes in vitro* составляет более 99 % при обработке образцов в течение 5 мин. Проведенное исследование доказывает возможность применения НТП, как нового метода повышения биологической безопасности овощного сырья при производстве продуктов общественного питания, особенно подвергающегося минимальной обработке.

На следующем этапе работы определяли направления повышения безопасности и пролонгации сроков годности продовольственного сырья животного происхождения при минимизации химических рисков. Обработка мяса (лопаточная часть говядины) ЭХА анолитом (концентрация активного хлора – 450 мг/дм^3) показала снижение ОМЧ в 2–10 раз в зависимости от способа и режима обработки. Пролонгация срока годности при температуре хранения $4 \pm 2^\circ\text{C}$ составила 1 сут.

Криотехнология, включающая обеззараживание в бактерицидной анолитно-ледяной среде для пролонгации срока годности рыбы (радужная форель и обыкновенный карп), позволила снизить ОМЧ более чем на 20 %. У контрольных образцов, которые хранились во льду, приготовленном из водопроводной воды, наблюдался сплошной рост колоний, что свидетельствует о тотальном загрязнении (>1000 КОЕ/см²). Совместное применение методов замораживания и обеззараживания приводило к повышению микробиологической безопасности и устойчивости рыбы при хра-

нении. Срок годности форели в анолитно-ледяной среде достигал 7 сут при коэффициенте резерва 1,4. ОМЧ находилось на допустимом уровне. Органолептические характеристики образцов соответствовали необходимым требованиям.

Бесхлорная технология обработки мяса птицы (тушка цыпленка бройлера 1 сорта потрошенная, охлажденная) ЭХАР на основе гидрокарбоната натрия не ухудшила органолептические показатели свежих и термообработанных образцов. Используемый режим обеззараживания снижал ОМЧ и пролонгировал срок годности мяса птицы при температуре хранения $4\pm 2^\circ\text{C}$ на 3 сут.

Таким образом, предложен эффективный комплекс технологических решений, физико-химических приемов и методов с применением ЭХАР, НТП и криотехнологии для пролонгации срока годности и обеспечения качества и безопасности продовольственного сырья растительного и животного происхождения (на примере листового салата, белокочанной капусты, радужной форели, обыкновенного карпа, мяса птицы и говядины) и продуктов общественного питания на их основе.

Глава 6 Обоснование обеспеченности требуемых потребительских характеристик сырья и продуктов общественного питания при хранении с применением методов сублимационной сушки и ЭСО

В целях интенсификации технологических процессов и обеспечения качества и пищевой ценности продуктов питания при хранении используют воздействие различных электрофизических полей. В работе определены режимы и технологические особенности сублимирования свежих ягод (клубники и малины). Ягоды замораживали при температуре минус 25°C и интенсивной циркуляции. В качестве рабочей температуры сублимационной сушки и температуры максимального нагрева ягод на этапе досушки выбраны $t_{\text{субл}} = -20^\circ\text{C}\pm 2^\circ\text{C}$ и $t_{\text{max}} = 40^\circ\text{C}$, соответственно. После сублимации снижение массовой доли витамина С составило 13–15 %. Коэффициент сублимации для используемого сырья был равен 11, время полного восстановления ягод – 5–7 мин. В течение 160 сут хранения потери витамина С составили 11 %, а изменение массовой доли влаги не превышало 0,3 %. С учетом коэффициента пересчета срок годности сублимированных ягод (при $5\text{--}25^\circ\text{C}$) составил 28 мес.

Техническое решение нашло применение при производстве шоколада с сублимированной клубникой и малиной, печенья «Макаронс» (Macarons) с сублимированной малиной и напитков с использованием сублимированного сырья «Ягодный коктейль», «Черничный». Кроме того, определены режимы сублимации сырья и разработаны новые блюда: «Каша гречневая с сублимированной говядиной», «Каша гречневая с сублимированной свиной», «Каша гречневая с сублимированным свиным фаршем». Разработана нормативная документация на изделия с использованием сублимированных продуктов. Проведенные исследования доказывают возможность эффективного применения сублиматов в общественном питании при производстве блюд с пролонгированным сроком годности.

Высокоэффективно воздействие на пищевые продукты электрофизических методов обработки. Разработаны технологические схемы установок для бесконтактной ЭСО среды при производстве полуфабрикатов, готовых блюд, пищевых продуктов и водных растворов. Определены потенциальные возможности данной технологии, реализованы наиболее удачные теоретически обоснованные конструкции.

Для снижения опасности микробиологического заражения готового блюда или полуфабриката во время остывания после термообработки и ускорения процесса их остывания перед замораживанием (на примере блюда «Лангет с помидорами») разработаны конструкции установок ЭСП. Использование поля с напряженностью 80 кВ/м

приводило к постепенному снижению числа жизнеспособных клеток на поверхности продукта (с $6 \cdot 10^3$ до $1 \cdot 10^3$ КОЕ/см³).

Определено уравнение, характеризующее процесс воздействия поля напряженностью (x) на количество жизнеспособных клеток (y): $y = 0,2124x^2 - 14,152x + 388,78$.

Микробиологические показатели качества опытных образцов блюд (на примере котлеты натуральной из филе птицы) после воздействия энергии ЭСП соответствовали требованиям ТР ТС 021/2011, органолептические показатели не изменялись. Выявлено, что можно обрабатывать как сырье и полуфабрикаты, так и блюдо, что актуально при употреблении и реализации продуктов общественного питания как на месте, так и на вынос (вывоз) с возможностью доставки.

Для создания программируемой воздушной среды (состав микробиоты), по своим характеристикам близкой к стерильной, создан стенд (рисунок 8). В формируемом между пластинами ЭСП происходит обработка воздуха с образованием аэроионов. Для предотвращения заражения продукта через гидрозатвор использовали разрешенное для индустрии питания дезинфицирующее и технологическое вспомогательное средство – анолит с концентрацией 100 мг/дм³ по активному хлору. Общий вид устройства для обработки в ЭСП жидких пищевых продуктов и водных растворов приведен на рисунке 9.

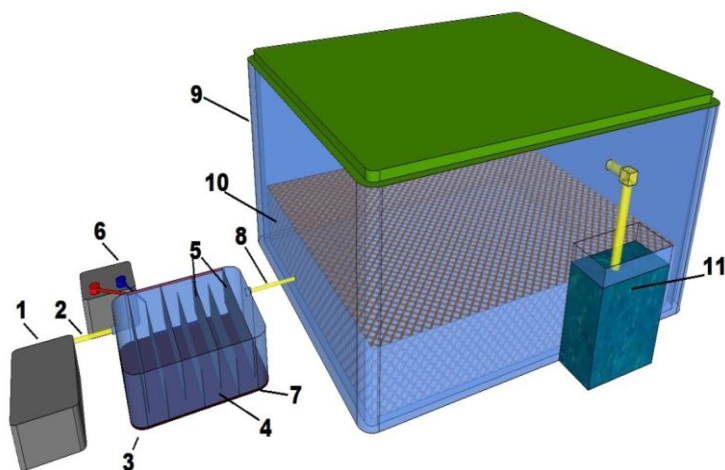


Рисунок 8 – Принципиальная схема устройства для обеспечения безопасности полуфабрикатов и готовых блюд: 1 – компрессор; 2, 8 – подающий и отводящий трубопроводы; 3 – ячейка; 4 – корпус; 5 – пластины; 6 – источник напряжения; 7 – ребристая намагниченная пластина; 9 – контейнер; 10 – сетчатая решетка; 11 – гидрозатвор

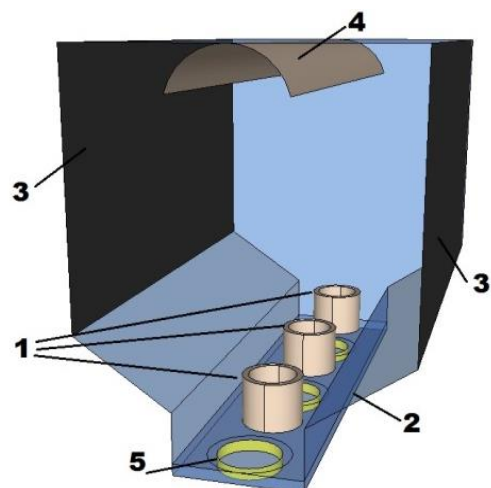


Рисунок 9 – Общий вид устройства для обработки в ЭСП жидких пищевых продуктов и водных растворов: 1 – подающие патрубки-форсунки; 2 – корпус; 3 – разноименно зараженные пластины-электроды; 4 – перевернутый желоб; 5 – отводящие патрубки

Разработанные и успешно испытанные опытные установки защищены тремя патентами: для обработки в ЭСП жидких пищевых продуктов и водных растворов (пат. № 170224), для обеспечения безопасности полуфабрикатов и готовых блюд (пат. № 173521) и по ЭСО пищевой продукции и водных растворов, применяемых в производстве продуктов, в овощеперерабатывающей отрасли и при очистке сточных вод (пат. № 163496).

Предложенные конструкции установок для обработки продукта после приготовления могут быть использованы при организации бортового и школьного питания, на фабриках-кухнях, в магазинах и на других предприятиях общественного питания и продовольственной торговли. Выявленные режимы ЭСО позволяют проводить про-

цесс активации микроорганизмов при напряженности ЭСП 6–50 кВ/м, ингибирования – при 75–120 кВ/м.

Сточные и оборотные воды, образующиеся при мойке овощей и фруктов, подвергаются механической очистке. Однако в воде остаются взвешенные частицы и микроорганизмы, которые повторно могут контаминировать продукцию.

Смоделирована конструкция опытно-промышленной установки с ЭСО, позволяющая после 30-ти секундной обработки при напряженности поля 100–110 кВ/м обеспечить снижение обсемененности сточной воды на 20 %. Экономия воды и сокращение затрат на очистку оборотных вод при ЭСО составят до 15 %. Однократное применение ЭХАР обеспечивает снижение значения химического потребления кислорода до нормативных значений.

Таким образом, развитие экологичных высокоэффективных технологий с применением сублимационной сушки и ЭСО позволяет решить как вопросы обеспечения безопасности продуктов при хранении, так и некоторые экологические проблемы, связанные с сохранением водных ресурсов.

Разработанные решения могут быть использованы при организации общественного питания в заготовочных цехах, столовых, на предприятиях быстрого обслуживания и других объектах, в том числе расположенных на территории социальных учреждений, предприятий, на транспорте и т.д.

Глава 7 Разработка высокоэффективных и экологичных приемов обеззараживания объектов АПК и индустрии питания с помощью дезинтеграции биопленки микроорганизмов метастабильными оксидантами

Актуальной проблемой в пищевой промышленности является увеличение резистентности патогенных и условно-патогенных микроорганизмов к антимикробным препаратам. Существующие способы очистки и дезинфекции характеризуются сложностью технологических процессов и высокой стоимостью применяемых средств.

В отличие от планктонной формы микроорганизмов, биопленка, обладая собственным гомеостазом, обеспечивает свою защиту от антибиотиков и дезинфектантов. Резистентность биопленок также обусловлена наличием застойных зон, особенностями рельефа поверхностей и свойствами материалов (ПВХ и силиконовые трубки, стекло, нержавеющая сталь AISI 304 и др.).

В работе исследовали процесс формирования трудноудаляемой микробной биопленки и ее дезинтеграции, индуцированной действием ЭХАР. Механизм действия ЭХА заключается в сохранении энергии вещества в возбужденном состоянии и в трансформации этой энергии в ходе последующих химических реакций.

Неоспоримым преимуществом анолита является широкий спектр действия (бактерии, в том числе микобактерии; вирусы, грибы, споры) и безопасность для окружающей среды, животных и человека (по ГОСТ 12.1.007-76 4 класс малоопасных веществ), католита – его высокая адсорбционно-химическая активность.

Дезинфекция первичной микробной биопленки распространяется только на ее поверхностный слой, а при следующем использовании продукт контаминруется сохранившейся микробиотой вторично. Многослойность биопленки и наличие значительной доли бактерий в виде метаболически неактивных персистеров сохраняет устойчивость биопленки к моющим кислотным или щелочным средствам [Погорелов, 2018; Погорелова, 2020].

На модельном стенде (циркуляционный реактор), имитирующем трубопровод на предприятии питания, были изучены биопленки, формируемые условно-патогенными бактериями *E. coli* и МКБ.

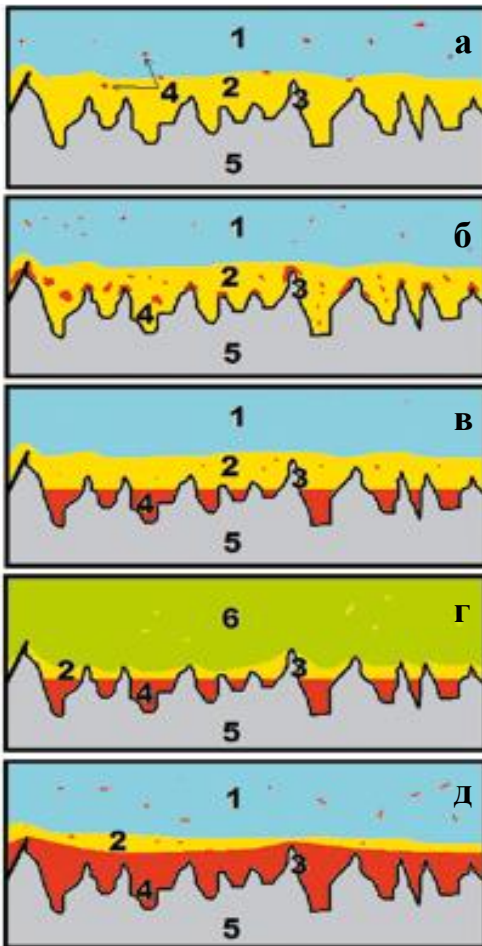


Рисунок 10 – Схема образования биопленки

Схематично процесс представлен на примере производства молочных продуктов на рисунке 10, где:

- 1 – молочный продукт;
- 2 – слой жировых и белковых отложений;
- 3 – граница поверхности;
- 4 – микроорганизмы;
- 5 – трубопровод;
- 6 – моющий и/или дезинфицирующий раствор;

а – первичное использование трубопровода;
 б – проникновение и закрепление микроорганизмов в слое жировых и белковых отложений;
 в – прикрепление микроорганизмов к поверхности;
 г – мойка и дезинфекция;
 д – повторное использование трубопровода

Отмывка застойных зон даже при агрессивном химическом воздействии является длительной и трудозатратной, не всегда обеспечивающей запланированный результат. В работе разработаны протоколы обеззараживания водопроводных конструктивных узлов посредством ЭХАР с противоположными значениями ОВП с учетом гидродинамических особенностей магистралей. Исследовано совместное влияние биоцидных ЭХАР и гидромеханических параметров, как наиболее важных факторов формирования и дезинтеграции биопленки.

Для описания условий течения жидкости было использовано безразмерное число Рейнольдса (Re), определяемое как отношение сил инерции (скоростного напора) к силам вязкого трения: $Re = \frac{D_n \cdot v \cdot \rho}{\mu}$,

где D_n – гидравлический диаметр трубы, м; v – скорость потока, м/с; ρ – плотность жидкости, кг/м³; μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с, при 20°C μ для воды равна $1004 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

В цилиндрических трубах $Re < 2300$, $2300 < Re < 4000$, $Re > 4000$ соответствуют условиям ламинарного, переходного и турбулентного течения, соответственно. Предлагаемые режимы дезинтеграции реализованы с учетом турбулентности потока.

При моделировании водопроводных узлов в качестве контроля использовали промывку водой (рН 7,3–7,6, ОВП 250–290 мВ) биопленку. Для удаления бактериальной пленки внутреннюю полость трубки обрабатывали потоком щелочного католита (рН 13,4–13,5, ОВП –35... –50 мВ). В ряде экспериментов использовали анолит (эквивалент активного хлора 450–550 мг/дм³, рН 5,5–6,5, ОВП 900–1000 мВ).

Проведена оценка влияния ЭХАР на рост и образование биопленки МКБ. Обнаружено, что последовательная обработка бактериальной пленки католитом и анолитом (фракции ЭХАР) приводит к наиболее выраженному снижению интенсивности и плотности роста бактерий. При этом, согласно данным [Бахир, 1981-2014; Cloete, 2009; Zhang, 2018], микробные сообщества не вырабатывают механизмы резистентности к данному воздействию.

Эффективность удаления биопленки оценивали по кинетическим характеристикам процесса, качеству разрушения клеточной компоненты и матрикса. Для

наблюдения в интерактивном режиме роста и дезинтеграции биопленки применялась проточная оптическая ячейка, анализируемая с помощью светового микроскопа в режиме проходящего света (рисунок 11).

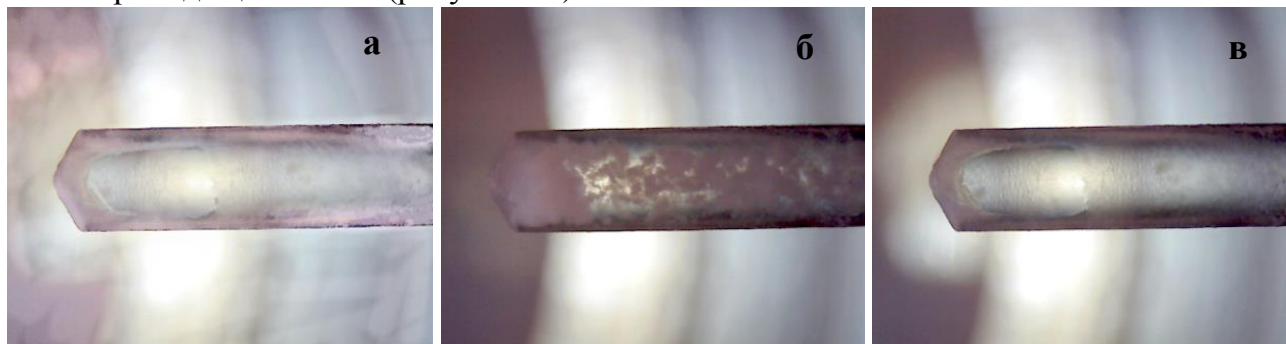


Рисунок 11 – Биопенкообразование МКБ в проточной ячейке: а – поверхность стекла иллюминатора до начала формирования биопленки; б – то же, после завершения формирования биопленки, в – то же, после обработки биопленки ЭХАР

Результаты микроскопического анализа выявили выраженные различия в структуре биопленки контрольного и экспериментальных образцов (рисунки 12 и 13).

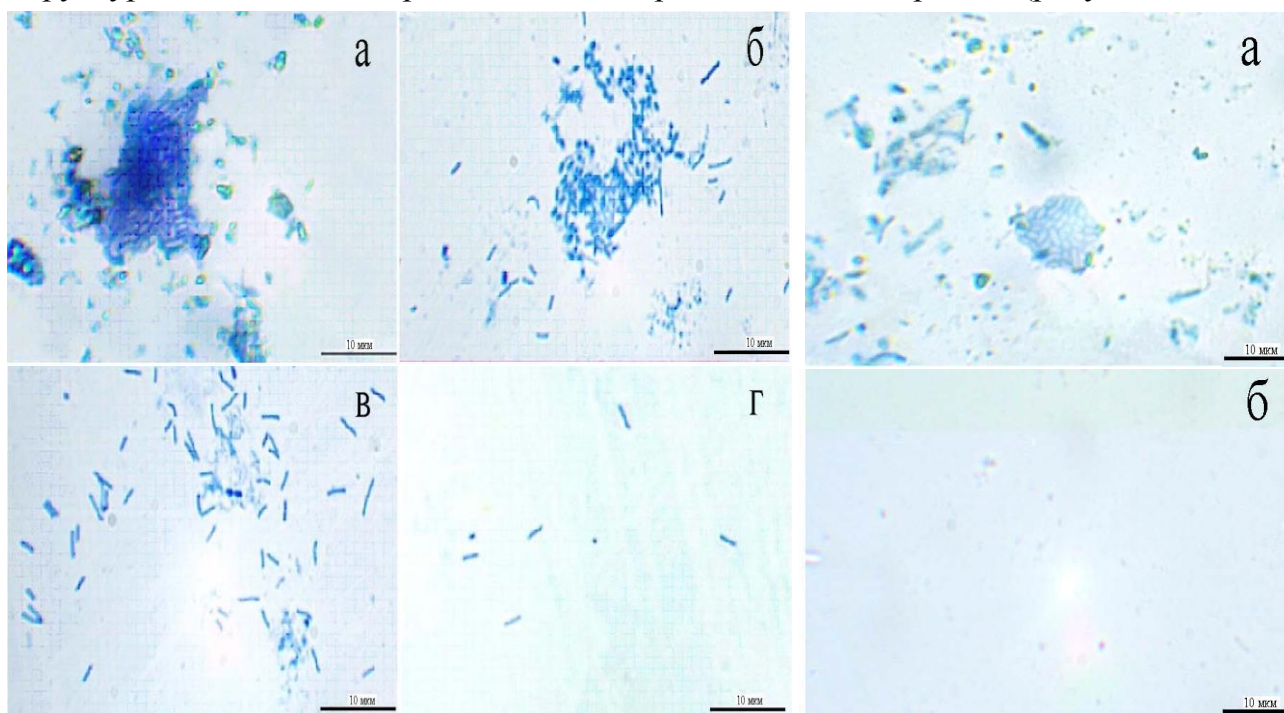


Рисунок 12 – Микрофотографии биопленки, сформированной МКБ и отмытой: а – водой (контроль); б – 10 % водным раствором NaOH; в – католитом; г – последовательно католитом и анолитом

Рисунок 13 – Микрофотографии повторно сформированной биопленки после удаления: а – первичной биопленки; б – вторичной биопленки католитом и анолитом

Из рисунка 12а видно, что вода оказывает недостаточное влияние на структуру биопленки. Разрыхление бактериальной пленки наблюдали в потоке 10 % раствора NaOH (рисунок 12б). В результате обработки католитом был удален матрикс биопленки и частично клеточная компонента (рисунок 12в). Максимальная дезинтеграция бактериальной пленки регистрировалась после воздействия католита в сочетании с анолитом, но и в этом случае на поверхности оставались фрагменты клеток (рисунок 12г). Расчет индекса микробиологической плотности биопленки (БП) определяли по формуле $БП = \log_{10}[(КОЕ/V_1) \cdot (V_2/S) \cdot K]$,

где КОЕ – число колоний/см²; V₁ – объем пробы, см³; V₂ – объем пробирки, см³; S – площадь купона, см²; K – коэффициент разбавления

Значения БП, полученные для разных экспериментальных групп (рисунок 12а-г), имели значительные отличия ($P < 0,05$) и составили (среднее ± среднееквадратичное отклонение): БП_а = 5,86±0,31; БП_б = 4,14±0,44; БП_в = 3,21±0,43; БП_г = 2,20±0,22. Наименьшее значение индекса БП соответствовало последовательному воздействию фракций ЭХАР, что означает наибольшую дезинтеграцию биопленки и эффективность предлагаемого способа обеззараживания.

Вследствие того, что следы матрикса и клеточного материала на поверхности являются аттрактором для регенерации биопленки, а ЭХАР влияет на свойства поверхностного слоя подложки, изучали удаление бактериальной пленки, сформированной повторно МКБ (рисунок 13). Условия ее выращивания и обработки оставались постоянными в течение всего эксперимента. На рисунке 13а видно, что на ранее обработанной ЭХАР поверхности формируются биопленки *de novo*, а на рисунке 13б – явных источников загрязнения после вторично проведенной процедуры дезинтеграции не выявлено. Таким образом, ЭХАР является эффективным средством для разрушения и вторичной бактериальной пленки.

В АПК резистентность биопленки к антибиотикам и дезинфектантам обуславливает развитие различных заболеваний, загрязняет воду и повреждает оборудование технологических линий. Формирование биопленок приводит также к значительным потерям ресурсов и уменьшению эффективности, что обуславливает необходимость поиска новых способов их удаления.

В протоколе очистки поверхности от биопленки одним из определяющих критериев является полнота отмывания остаточных следов дезинфицирующего агента. Этот фактор особенно актуален для застойных зон, учитывая уменьшение количества раствора, омывающего их объем.

Показано, что оценка удаления биопленки достигается морфологическим анализом присутствия на поверхности фрагментов матрикса и клеточной компоненты. ЭХАР эффективно разрушает основные компоненты бактериальной пленки и оказывал выраженное дезинфицирующее действие. Однако на поверхности остаются микрочастицы матрикса, которые могут стимулировать регенерацию биопленки, что не определяется с помощью оптической микроскопии.

Строение бактериальной пленки, сформированной композицией МКБ и *E. coli* на внутренней поверхности ПВХ трубки циркуляционного реактора в основном потоке или в области застойной зоны, иллюстрирует рисунок 14 (SEM в режиме вторичных электронов). На микрофотографии заметна сложная структура биопленки, которая состоит, по крайней мере, из трех видимых уровней. Визуально клетки в основном потоке (рисунок 14а) крупнее, чем в застойной зоне (рисунок 14б). Различие в размере, возможно, отражает более эффективную доставку субстрата и кислорода основным потоком. Анализ препаратов показал, что фракция МКБ полностью удаляется с помощью ЭХАР. На подлежащем нижнем слое биопленки преобладают клетки *E. coli*. Концентрация *E. coli* – микроорганизма-показателя санитарного состояния предприятия, критерия неблагополучной ситуации в технологии и/или производственной цепочке, в области основного потока (рисунок 14в) была гораздо меньше, чем в застойной зоне (рисунок 14г). По-видимому, ограниченность доступа потока в застойную область обусловила ухудшение качества дезинтеграции биопленки.

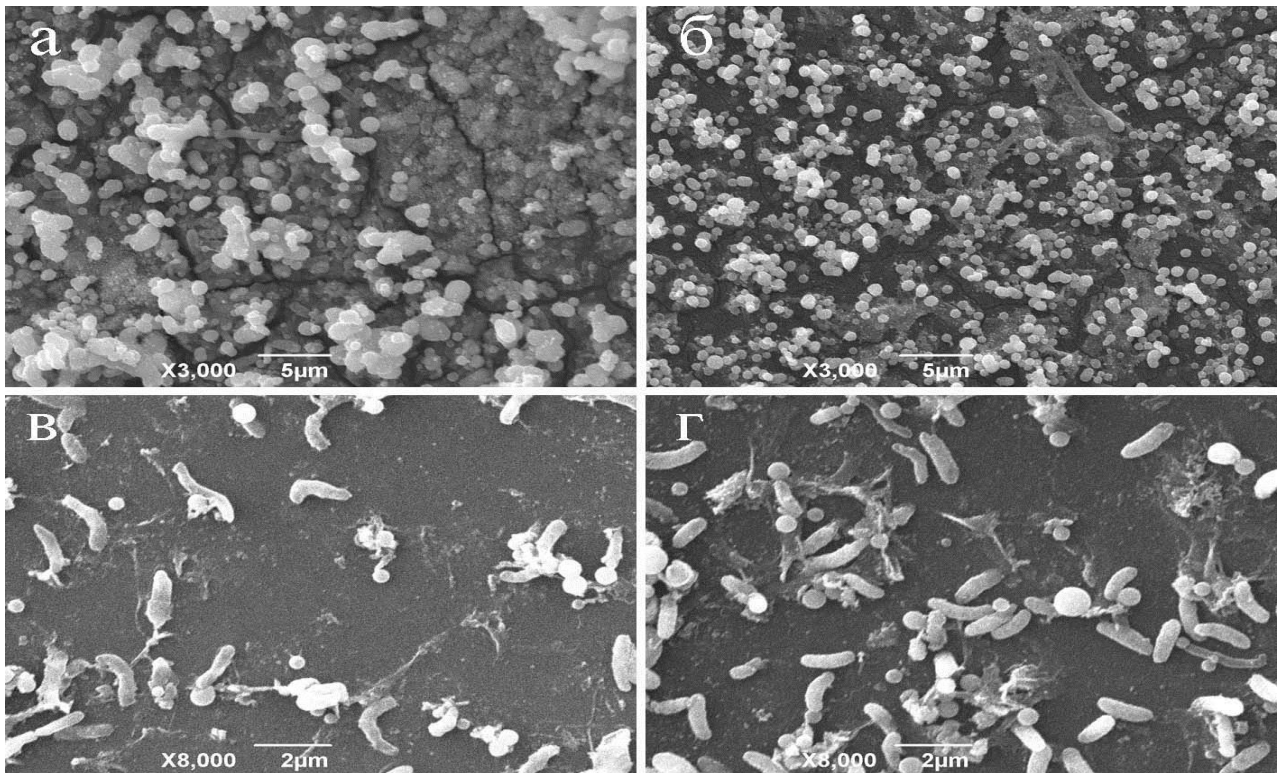


Рисунок 14 – Микрофотографии бактериальной пленки в основном потоке или в области застойной зоны: а – необработанная пленка, сформированная в основном потоке; б – то же, в застойной зоне; в – пленка, сформированная в основном потоке и обработанная катодом; г – то же, в застойной зоне

Показано, что у клетки *E. coli* присутствует механизм фиксации к поверхности посредством фимбрий (*Fimbriae*) длиной от 0,5 до 4 мкм, представляющих собой белковые (пилин) цилиндры, отходящие от клетки, функции которых требуют комплексного изучения. Результаты эксперимента согласуются с данными литературных источников [Просеков, 2018; Vohinc, 2015; Pogorelov, 2018], которые подтверждают, что взаимодействие бактерий с другими про- и эукариотическими клетками, обеспечиваемое поверхностными нитевидными структурами бактериальной клетки, является важным этапом заселения эпителия и проникновения патогенных бактерий в клетки организма хозяина, образования биопленок и переноса генетического материала при конъюгации. На конце указанных структур находятся молекулы белка-адгезина FimH, который взаимодействует с остатками маннозы на поверхности эпителиальных клеток. Благодаря прикреплению к эпителию, клетки бактерии не выводятся из организма. Аналогично для дезинтеграции биопленок *E. coli* на рельефной пористой поверхности оборудования дезинфицирующий раствор должен обладать более универсальными свойствами, чем при удалении пленки из МКБ.

Практическая ценность выполненных работ связана не только с возможностью применения результатов исследования непосредственно в производственных условиях (при обработке трубопроводов и другого оборудования из стекла, нержавеющей стали или ПВХ), но и с созданием и отработкой методической базы оценки эффективности экспериментальных моделей.

Микрофотографии, полученные посредством SEM в режиме вторичных электронов, наглядно демонстрируют строение и изменения в структуре биопленки (композиция МКБ и *E. coli*) в зависимости от способа обработки (рисунок 15).

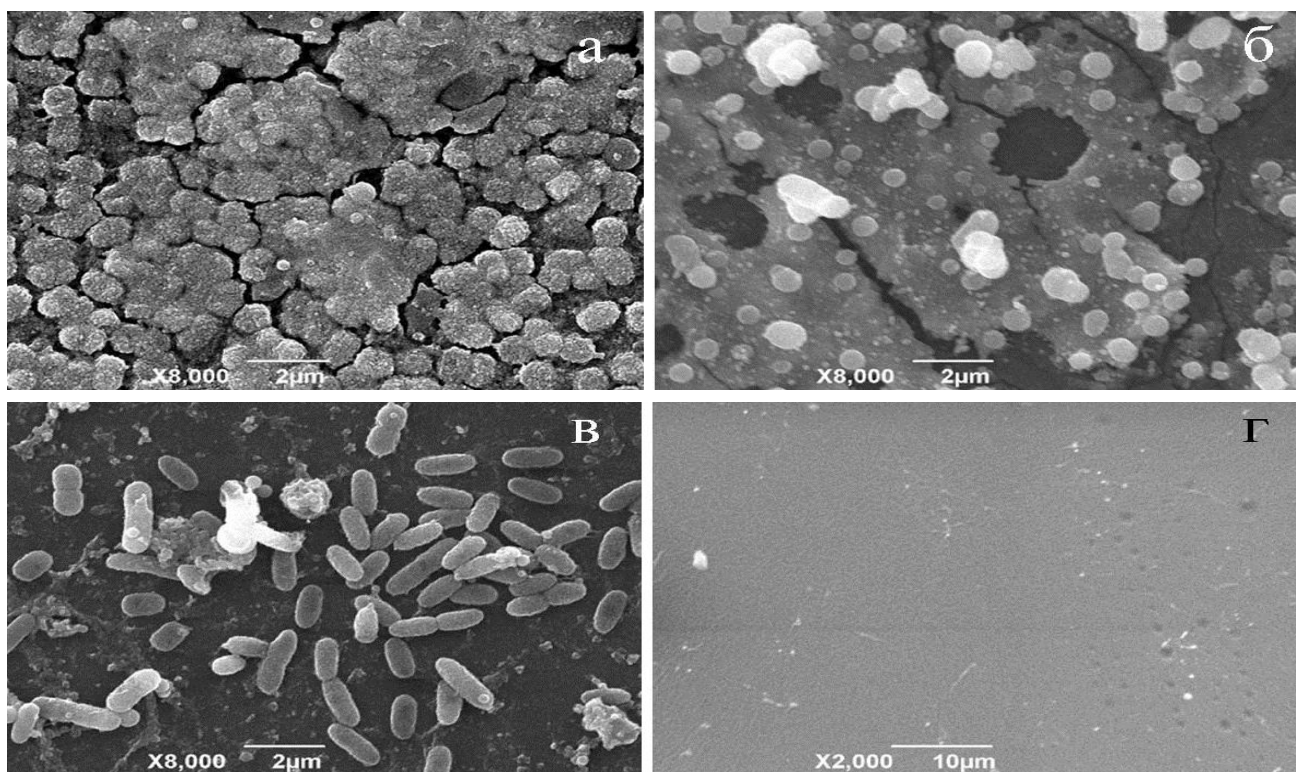


Рисунок 15 – Микрофотографии бактериальной пленки, отмытой:
 а – протоком воды из бытового трубопровода; б – 10 % водным раствором NaOH;
 в – католитом; г – последовательно католитом и анолитом

Промывание трубопровода водой практически не оказывало эффекта (рисунок 15а). Широко применяемый в пищевой промышленности 10 % водный раствор NaOH действует на верхний слой биопленки (рисунок 15б) – многоярусной структуры, обычно свойственной симбиозу микроорганизмов. Выраженную дезинтеграцию бактериальной пленки вызывал католит (рисунок 15в). Эффект носил специфический характер удаления только МКБ, а *E. coli* и слой матрикса, прилежащий к поверхности подложки, оставались нетронутыми. Наблюдается характерная ситуация, когда матрикс биопленки купирует внешнее воздействие. Полное удаление бактериальной пленки, состоящей из МКБ и *E. coli*, происходило при последовательном воздействии восстановленного и окисленного ЭХАР – католита и анолита (рисунок 15г).

Оценка чистоты методами молекулярно-генетического анализа Real-time PCR и времяпролетной масс-спектрометрии вторичных ионов ToF-SIMS свидетельствовала о высокой эффективности предлагаемого приема обеззараживания и в комплексе с ультраструктурными наблюдениями подтверждала необходимый уровень верификации чистоты поверхности.

Предлагаемый метод деконтаминирования для предприятий АПК и индустрии питания основан на совокупности технологических решений, предусматривающих антимикробное воздействие на различные объекты с использованием соединений в метастабильном состоянии. ЭХАР можно считать наиболее безопасными средствами химической защиты продуктов питания, а технологию их получения можно отнести к категории «природоподобных», не наносящих урона окружающей среде.

Данная технология представляет собой пример использования одного физико-химического процесса с несколькими технологическими эффектами. В работе показана возможность и целесообразность использования деконтаминирующего ЭХАР как технологического вспомогательного средства, так и для удаления бактериальной об-

семенности с поверхности продуктов, материалов, оборудования и водопроводных линий предприятий. Результаты интеллектуальной деятельности оформлены в виде патентов: устройства для исследования биообрастания и воздействия дезинфицирующих средств на биопленки в протоке (пат. №№ 178083, 179657, 194989), для очистки гидропонного покрытия (пат. № 188140) и обработки плодоовощной продукции (пат. № 198829).

Глава 8 Производственные испытания и промышленная апробация результатов исследований и предложенных технико-технологических решений, анализ социальной значимости и экономической эффективности при обеспечении безопасности и комплексного ресурсосбережения в индустрии питания

Приоритетными направлениями стратегии научно-технологического развития России являются обеспечение высокопродуктивного и экологически чистого агро- и аквахозяйств, улучшение технологии хранения и переработки сырья, повышение безопасности и качества продуктов питания, внедрение эффективных систем химической и биологической защиты (Указы Президента РФ № 642 от 01.12.2016 г., № 97 от 11.03.2019 г.). В данной работе, на основе системного риск-ориентированного подхода, требований ГОСТ Р ИСО 22000-2019 и CODEX HACCP, сформулированы технико-технологические решения по обеспечению биологической безопасности технологии продуктов общественного питания посредством ЭХАР, НТП, ЭСО, сублимации, крио- и нанотехнологии на всех этапах производственной цепи.

Полученные научно-технические результаты позволяют реализовать экологичные технологии на основе высокоэффективных методов обеззараживания, что способствует инновационному и импортозамещающему развитию сегментов индустрии питания, сельского хозяйства и продовольствия, снижению потерь от социально значимых и представляющих опасность для окружающих заболеваний.

Социальная значимость комплексного ресурсосбережения при обеспечении безопасности продуктов питания на всех этапах их жизненного цикла подтверждается данными Росстата, Минсельхоза РФ и Высшей школы экономики. Основные потери пищевых продуктов приходятся на первые этапы производства и реализации. Зерновые, молочные продукты и овощи составляют более 80 % от всех продуктов, выбрасываемых как потребителями, так и оптово-розничными сетями. Стоимость невостребованных в течение года 17 млн т еды оценивается в 1,6 трлн руб.

Поэтому решение задачи сохранения продуктов и пролонгации их сроков годности и биобезопасности с помощью физико-химических методов в проведенных исследованиях соответствуют задачам решения важной народнохозяйственной проблемы. Промышленная апробация и производственные испытания разработанных технологических решений проведены на предприятиях общественного питания: в 2018–2019 гг. на ООО «Квант» (г. Можайск), ООО «4ПАПАС» (г. Москва), ИП Стрельцов Д.С. (г. Суздаль). В рамках стандартной санитарно-гигиенической программы на Фабрике-кухне «Лефорт» (ООО «Вертикаль плюс» (г. Москва), United Catering Group) в 2020 г. проведена обработка ЭХАР рабочих поверхностей, оборудования, инвентаря, полов и стен помещений в холодном и в кондитерском цехах. Результаты производственных испытаний в практике обеспечения безопасности общественного питания соответствуют предъявляемым санитарным требованиям и нормам. Рекомендовано масштабирование предлагаемых решений в практике обеспечения биологической безопасности корпоративного питания в индустриальном и социальном секторе.

Лабораторно-производственные испытания успешно проведены на АО «Черкизовский мясоперерабатывающий завод» (г. Москва, 2020 г.). Показана дезинфициру-

ющая эффективность анолитной фракции ЭХАР нового поколения для снижения микробиологической контаминации и повышения безопасности оборудования, сырья и продуктов общественного питания. Применение анолита также рекомендовано в целях усиления противоэпидемических мероприятий в условиях сохранения рисков распространения новой коронавирусной инфекции.

Контрольная проработка кулинарной продукции «Карпаччо из куриных грудок» с применением электрохимически активированного водного раствора оксидантов с ОВП $+800 \pm 100$ мВ проведена на МПЗ «Москворецкий» (г. Москва, 2020 г.) в соответствии с ТУ 10.13.14-087-37676459-2017.

Разработана технологическая инструкция по применению ЭХАР на предприятиях общественного питания, пищевой и биотехнологической промышленности (ТИ 56.29.19-006-02068634-2020).

Опытно-промышленная апробация режимов обеззараживания различных объектов реализована в производственных условиях предприятия индустрии питания на 2000 мест при высшем учебном заведении (г. Москва, 2020 г.) – в столовой ФГБОУ ВО «МАИ (НИУ)». Проводилась регулярная обработка анолитом (дезинфицирующим и технологическим вспомогательным средством «Анолит АНК СУПЕР») овощей (баклажаны, кабачки, белокочанная и китайская капуста и др.) и фруктов (апельсины, мандарины, лимоны, бананы, зеленые и красные яблоки и др.); анолитом и/или католитом (концентрированным (9–10 %) электрохимически активированным раствором гидроксида натрия) – технологических линий, оборудования, столовой посуды, поверхностей помещений и других объектов в установленных режимах. Полученные практические результаты доказывают эффективность предложенных способов в подавлении микробной контаминации пищевых продуктов и различных участков технологической цепи. Регулярное обеззараживание обеими фракциями ЭХАР (анолитом и католитом) обеспечивало достоверное удаление биопленки микроорганизмов на всех выбранных объектах.

Внедрение результатов научной работы в производственный процесс реализовано в условиях предприятия общественного питания ООО «РеалГрупп» (г. Москва, 2020 г.) при организации питания, деятельности по обслуживанию мероприятий, ресторанов и услуг по доставке; при производстве фруктовых и овощных соков; готовых пищевых продуктов и блюд; хлеба и мучных кондитерских изделий различных сроков хранения; продукции из мяса убойных животных и мяса птицы и др. При этом обеспечивается повышение биологической безопасности производства пищевых продуктов с заданными показателями.

В данной работе приведены технико-технологические решения, обеспечивающие минимизацию химических рисков и создание высокоэффективных методов повышения безопасности сырья и готовых продуктов при пролонгации их сроков годности. Применение НЧС позволяет контролировать микробиологическую обсемененность продовольственного сырья. Совмещение криотехнологии и обеззараживания, развитие сублимационных решений способствует пролонгации срока годности и расширению ассортимента продуктов длительного хранения. Электростатическое воздействие возможно как на этапе производства продуктов общественного питания, так и при обеззараживании сточных и оборотных вод. Так, сохранность сырья, экономия воды и сокращение затрат на очистку оборотных вод при ЭСО составляет до 15 %.

Применение анолитной фракции ЭХАР в целях обработки растительного сырья позволяет до 20 % снизить расходы, затраченные на дезинфекцию, при этом смывания средства с поверхности продуктов не требуется (в отличие от других

средств). При обработке мяса анолитом удорожание блюда (на примере ростбифа, выход порции 250 г) составит не более 0,6 %. При реализации разработанной стратегии повышения конкурентоспособности и безопасности предприятия питания (на примере ресторана в условиях рисков распространения коронавирусной инфекции) на основе ЭХАР дополнительная прибыль составляет 1,15 млн руб/год.

Реализована разработка экологически безопасного высокоэффективного способа прерывания путей передачи инфекции на объектах пищевой промышленности, продовольственной торговли, на предприятиях общественного питания, расположенных в местах массового скопления людей. Полученные результаты вносят вклад в решение как общей для всех предприятий общественного питания и АПК проблемы снижения микробной контаминации, так и конкретных задач более узких областей, – обеззараживания пищевого сырья и водных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научно обоснован подход к обеспечению биологической безопасности продовольственных товаров, определены режимы эффективного использования физико-химических методов обработки пищевого сырья и продуктов при сохранении традиционной технологии общественного питания. Разработана система технико-технологических решений, способствующая реализации важных народнохозяйственных задач по обеспечению качества продуктов питания на этапах их жизненного цикла, снижению микробной контаминации и пролонгации срока годности (в 1,4–2,5 раз). Итоги выполненных исследований представлены в следующих выводах.

1. На базе проведенного анализа научно-технической информации о состоянии и тенденциях развития индустрии питания, известных технологических и методических подходов, теоретических данных и нормативно-правовых аспектов разработан риск-ориентированный процессный подход, основанный на выполнении предупреждающих действий и минимизации негативных последствий, для достижения результативного системного менеджмента качества и обеспечения безопасности на этапах жизненного цикла продуктов.

2. Определена методология использования физико-химических методов и средств для обеспечения биологической безопасности производства продуктов и организации общественного питания. Используя риск-ориентированный подход на этапах жизненного цикла продуктов, обоснована целесообразность и перспективность применения таких физико-химических методов и средств, как метастабильные электрохимически активированные растворы (ЭХАР), низкотемпературная плазма, наноразмерные частицы серебра (НЧС), криотехнологические решения, сублимационная сушка и электростатическая обработка (ЭСО).

3. Разработана модель Парето-эффективного производства продовольственных товаров на этапах их жизненного цикла с использованием системного подхода к повышению безопасности и конкурентоспособности. Определена поверхность Парето-эффективных фронтов в критериальном пространстве оценок с учетом накладываемых спецификаций. Показано, что введение в практику прогрессивных физико-химических методов повышения суммарной потребительской ценности позволит достичь их Парето-эффективного, гарантированного уровня на каждом из этапов жизненного цикла.

4. Оценена безопасность, обоснована необходимость и разработаны методы подавления микробной контаминации зерна и регенерируемых дрожжей с применением НЧС; снижения (более чем в 400 раз) содержания НЧС в обеззараженном зерне до допустимых значений. Выявлена селективная антимикробная активность НЧС (10–15

нм) для предотвращения развития бактериальных инфекций дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* с доказанной эффективностью (98,9 %) в отношении *Bacillus cereus*, *Bacillus subtilis*, *Erwinia herbicola*, *Escherichia coli*, *Lactobacillus brevis*, *Micrococcus varians*, *Pediococcus claussenii*, *Pseudomonas fluoresces* (пат. № 2584603) с МИК в жидкой $(0,5-1,0) \cdot 10^{-3}$ г/дм³ и твердой $(1,5-2,5) \cdot 10^{-3}$ г/дм³ питательных средах.

5. Разработаны комплексные ресурсосберегающие технологические решения для повышения биологической безопасности и продления сроков годности сырья растительного и животного происхождения при отсутствии негативного воздействия на органолептические показатели продуктов. Для снижения общего микробного числа на 99 % установлены концентрации и способы применения ЭХАР, не требующих смывания водой. Применение бактерицидного льда на основе анолита позволило увеличить срок годности рыбы до 7 сут при коэффициенте резерва 1,4; бесхлорной обработки мяса птицы анолитом-перокс – на 3 сут. Определены режимы обработки низкотемпературной плазмой капустного листа для снижения бактерий и биопленок *Listeria monocytogenes* на 99 %.

6. Обоснована обеспеченность требуемых потребительских характеристик сырья и продуктов общественного питания при хранении с применением методов сублимационной сушки и ЭСО. Определены рациональные режимы сублимационной сушки для пролонгации срока годности продуктов растительного и животного происхождения. Разработаны устройства по электростатической обработке полуфабрикатов, готовых блюд, жидких продуктов, плодоовощной продукции для обеспечения биологической безопасности и пролонгации срока годности (пат. №№ 163496, 170224, 173521).

7. Разработаны высокоэффективные и экологичные приемы обеззараживания объектов АПК и индустрии питания с помощью дезинтеграции биопленки микроорганизмов метастабильными оксидантами. Разработаны стенды для моделирования формирования, исследования процесса биообрастания и дезинтеграции биопленок в турбулентном потоке ($Re > 4000$) с застойными зонами, в проточных системах и на пищевых объектах (пат. №№ 178083, 179657, 188140, 194989, 198829). Показана многослойная архитектура комплексной биопленки, сформированной лактобактериями и кишечной палочкой, которая, помимо адгезии, фиксируется посредством фимбрий (*Fimbriae*). Разработан экологически чистый метод обеззараживания с применением фракций ЭХАР – католитом (ОВП -150 ± 100 мВ) и анолитом (эквивалент активного хлора 450 ± 50 мг/дм³, ОВП 950 ± 50 мВ), способных дезинтегрировать как клеточную компоненту, включая *Escherichia coli*, так и матрикс биопленки.

8. Проведены производственные испытания, промышленная апробация и внедрение разработанных технико-технологических решений на предприятиях пищевой промышленности и общественного питания. Доказана социально-экономическая эффективность результатов внедрения разработанных решений в целях обеспечения биологической безопасности и комплексного ресурсосбережения в индустрии питания, пролонгации срока годности продуктов, нераспространения пищевых инфекций, снижения потерь от социально значимых заболеваний и снижения издержек при производстве, хранении, транспортировании и реализации продуктов питания.

Разработана стратегия повышения конкурентоспособности предприятия общественного питания (на примере ресторана в условиях сохранения рисков распространения коронавирусной инфекции) с применением ЭХАР. Дополнительная прибыль составит 1,15 млн руб/год. При ЭСО экономия воды, сохранность сырья и сокращение затрат на очистку оборотных вод предприятия составят до 15 %. Отсутствие

необходимости смыва анолитной фракции ЭХАР в отличие от других средств обеспечит снижение расходов воды до 20 %.

Результаты теоретических и практических исследований применения физико-химических методов с доказанной эффективностью обеспечения безопасности на этапах жизненного цикла пищевых продуктов в индустрии питания рекомендуется использовать на предприятиях общественного питания и продовольственной торговли, в индустрии питания на транспорте (в том числе бортовое питание), при организации социального питания (образовательные и медицинские учреждения, корпоративное питание и т.д.), на биотехнологических, пищевых производствах, очистных сооружениях, а также в научных исследованиях, в которых обеспечение биобезопасности продуктов питания служит объектом изучения.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, индексируемые в базах цитирования Web of Science или Scopus

1. Balandin, G. V. The Study of the Antimicrobial Activity of Colloidal Solutions of Silver Nanoparticles Prepared Using Food Stabilizers / G. V. Balandin, **O. A. Suvorov** [et al.] // Journal of Food Science and Technology. – 2015. – Vol. 52, N 6. – P. 3881–3886.
2. Semenov, G. V. Influence of Freezing and Drying on Phytochemical Properties of Various Fruit / G. V. Semenov, I. S. Krasnova, **O. A. Suvorov** [et al.] // Biosciences Biotechnology Research Asia. – 2015. – Vol. 12, N 2. – P. 1311–1320.
3. **Suvorov, O. A.** Impact of Silver Nanoparticle Suspensions on Mixtures of Fungal and Bacterial Microorganisms of Food Production / O. A. Suvorov [et al.] // Materials Today: Proceedings. 2017. – Vol. 4, N 7.1. – P. 6863–6868.
4. **Suvorov, O. A.** Technological Solution for Increasing Efficiency of Using and Shelf-Life Extension of Food Products / O. A. Suvorov [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2017. – Vol. 8, N 2. – P. 2434–2438.
5. **Suvorov, O. A.** Electrostatic Treatment as a Method of Improving the Quality and Safety of Food / O. A. Suvorov [et al.] // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2017. – Vol. 12. – P. 903–906.
6. Pogorelov, A. G. Modeling, Formation, Destruction and Scanning Electron Microscopy of Biofilms / A. G. Pogorelov, V. M. Bakhir, L. G. Ipatova, A. L. Kuznetsov, **O. A. Suvorov** [et al.] // International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences. – 2017. – Vol. 6, N 1. – P. 145–153.
7. **Suvorov, O. A.** Antibacterial Effect of Colloidal Solutions of Silver Nanoparticles on Microorganisms of Cereal Crops / O. A. Suvorov [et al.] // Foods and Raw Materials. – 2017. – Vol. 5, N 1. – P. 100–107.
8. **Suvorov, O. A.** Microbial Stabilization of Grain Raw Material Using Silver Nanoparticles / O. A. Suvorov, G. V. Balandin // Voprosy Pitaniia. – 2017. – Vol. 86, N 3. – P. 108–114.
9. Pogorelova, M. A. Does Electrochemically Reduced Water Remove Bacterial Film? / M. A. Pogorelova, A. L. Kuznetsov, **O. A. Suvorov** // International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences. – 2018. – Vol. 7, N 2. – P. 139–142.
10. Pogorelov, A. G. Disintegration of Bacterial Film by Electrochemically Activated Water Solution / A. G. Pogorelov, **O. A. Suvorov** [et al.] // Bulletin of Experimental Biology and Medicine. – 2018. – Vol. 165, N 4. – P. 493–496.
11. **Suvorov, O. A.** Provision of Microbiological Safety in The Food Industry Based on Special Technological Supporting Solutions / O. A. Suvorov [et al.] // International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences. – 2018. – Vol. 7, N 1. – P. 103–113.
12. **Suvorov, O. A.** Electrochemical and Electrostatic Decomposition Technologies As a Means of Improving the Efficiency and Safety of Agricultural and Water Technologies / O. A.

Suvorov [et al.] // International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences. – 2018. – Vol. 7, N 2. – P. 43–52.

13. Pogorelov, A. G. Destruction of a Bacterial Biofilm with an Electrochemically Activated Solution / A. G. Pogorelov, A. L. Kuznetsov, V. N. Pogorelova, **O. A. Suvorov** [et al.] // Biophysics. – 2019. – Vol. 64, N 4. – P. 583–587.

14. Pogorelova, M. A. Inhibiting Effect of Electrochemically Activated Aqueous Solutions on Growth Biofilms / M. A. Pogorelova, **O. A. Suvorov** [et al.] // International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences. – 2019. – Vol. 8, N 2. – P. 150–156.

15. Pogorelov, A. G. Bacterial Film Disintegration with Electrochemically Reduced Water / A. G. Pogorelov, A. L. Kuznetsov, A. I. Panait, M. A. Pogorelova, **O. A. Suvorov** [et al.] // Doklady Biochemistry and Biophysics. – 2019. – Vol. 486, N 1. – P. 206–208.

16. Pogorelov, A. G. Nanoformulations: Clinoptilolite-Based Capsule with Lecithin Shell / A. G. Pogorelov, T. A. Stepanova, A. I. Panait, M. A. Pogorelova, **O. A. Suvorov** [et al.] // International Journal of Pharmaceutical Research and Allied Sciences. – 2020. – Vol. 9, N 3. – P. 125–130.

**Статьи в изданиях, входящих в Перечень рецензируемых научных журналов
ВАК при Минобрнауки России**

17. Брызун, В. А. Определение степени готовности полуфабрикатов ржано-пшеничного хлеба / В. А. Брызун, Н. В. Лабутина, **O. A. Суворов** // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2008. – № 9. – С. 41–43.

18. **Суворов, O. A.** Современные технологии хлеба и хлебобулочных изделий. Рыночные перспективы / O. A. Суворов, Н. В. Лабутина [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2011. – № 6. – С. 78–83.

19. **Суворов, O. A.** Конкурентные преимущества современных технологий в хлебопечении / O. A. Суворов, Н. В. Лабутина [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2012. – № 1. – С. 101–104.

20. Складенко, С. А. Производственная инфраструктура предприятий хлебопекарной промышленности – вчера, сегодня, завтра / С. А. Складенко, Т. М. Панченко, **O. A. Суворов**, Н. В. Лабутина // Хлебопечение России. – 2012. – № 2. – С. 10–11.

21. Подкопаев, Д. О. Применение неорганических наночастиц для придания упаковочным материалам антимикробных свойств / Д. О. Подкопаев, Л. Н. Шабурова, Н. В. Лабутина, **O. A. Суворов** [и др.] // Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов. – 2013. – № 4. – С. 28–36.

22. Подкопаев, Д. О. Особенности применения наночастиц в пищевой промышленности / Д. О. Подкопаев, Н. В. Лабутина, **O. A. Суворов** [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2013. – № 5/6. – С. 5–8.

23. Подкопаев, Д. О. Сравнительная оценка антимикробной активности наночастиц серебра / Д. О. Подкопаев, Л. Н. Шабурова, Г. В. Баландин, О. В. Крайнева, Н. В. Лабутина, **O. A. Суворов** [и др.] // Российские нанотехнологии. – 2013. – № 11, Т. 8. – С. 123–126.

24. Гурьева, К. Б. Основные направления использования и создания наноупаковки для пищевых продуктов / К. Б. Гурьева, Ю. О. Сумелиди, Д. О. Подкопаев, **O. A. Суворов** // Товаровед продовольственных товаров. – 2013. – № 10. – С. 65–70.

25. Подкопаев, Д. О. Правовые аспекты реализации и контроля пищевых упаковочных материалов с наносоставляющей в Российской Федерации / Д. О. Подкопаев, Ю. А. Тырсин, **O. A. Суворов** [и др.] // Товаровед продовольственных товаров. – 2014. – № 4. – С. 51–55.

26. Кузнецов, А. Л. Исследование возможности применения электростатической обработки для интенсификации процессов конвективной сушки / А. Л. Кузнецов, **O. A. Суворов** // Инженерный вестник Дона (электронный журнал). – 2015. – № 2. – 11 с.

27. Воложанинова, С. Ю. Использование физико-химических методов обработки с целью продления срока годности, повышения качества и контроля безопасности продуктов питания / С. Ю. Воложанинова, **О. А. Суворов** [и др.] // Инженерный вестник Дона (электронный журнал). – 2015. – № 3. – 13 с.
28. Кузнецов, А. Л. Изучение физико-химических свойств активированных растворов / А. Л. Кузнецов, В. А. Будаева, **О. А. Суворов** [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015. – № 8. – С. 25–27.
29. Никифорова, А. Л. Применение физико-химической технологии для повышения безопасности пищевой продукции / А. Л. Никифорова, **О. А. Суворов** [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2015. – № 9. – С. 49–53.
30. **Суворов, О. А.** Технологические методы продления свежести сырья животного происхождения / О. А. Суворов [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – № 6. – С. 13–17.
31. Войно, Л. И. Влияние дезинфектантов различного химического состава на снижение микробной контаминации куриных яиц / Л. И. Войно, М. А. Храмцов, **О. А. Суворов** // Пищевая промышленность. – 2017. – № 2. – С. 55–57.
32. Козловская, А. Э. Влияние хлебопекарных свойств ржаной обдирной муки на теплофизические характеристики ржано-пшеничных полуфабрикатов при замораживании и дефростации / А. Э. Козловская, Н. В. Лабутина, **О. А. Суворов** // Пищевая промышленность. – 2017. – № 4 – С. 56–59.
33. Пугачев, И. О. Применение электрохимически активированных водных растворов для сохранения качества и продления сроков годности свежей рыбы / И. О. Пугачев, Э. Т. Соловатова, С. Ю. Воложанинова, Н. В. Рубан, **О. А. Суворов** // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2018. – № 1. – С. 51–55.
34. Погорелова, М. А. Актуальные проблемы безопасного обеззараживания гидропонных субстратов агропромышленных комплексов / М. А. Погорелова, **О. А. Суворов** [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 1. – С. 12–21.
35. **Суворов, О. А.** Биологические эффекты и основные механизмы влияния электролизованной восстановленной воды на человека / О. А. Суворов [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2020. – Т. 8, № 4. – С. 104–110.

Патенты

36. Патент № 2584603 РФ, МПК С12N 1/16 (2006.01) С12N 1/38 (2006.01) С12N 1/04 (2006.01) Способ антибактериальной обработки дрожжей : № 2015115461 заявл. 24.04.2015 : опубл. 20.05.2016 / Г. В. Баландин, Г. А. Ермолаева, Л. Н. Шабурова, **О. А. Суворов** ; заявитель МГУПП. – 8 с.
37. Патент № 163496 РФ, МПК С12М 1/42 (2006.01) Погружной электростатический активатор : № 2015154043 : заявл. 16.12.2015 : опубл. 20.07.2016 / А. Л. Кузнецов, В. А. Будаева, **О. А. Суворов** [и др.]; заявитель МГУПП. – 6 с.
38. Патент № 170224 РФ, МПК А23L3/005 Устройство для обработки в электростатическом поле жидких пищевых продуктов и водных растворов : № 2016149425 : заявл. 15.12.2016 : опубл. 18.04.2017 / **О. А. Суворов**, Н. В. Лабутина [и др.] ; заявитель МГУПП. – 7 с.
39. Патент № 173521 Российская Федерация, МПК В03С3/08 Устройство для обеспечения безопасности полуфабрикатов и готовых блюд : № 2016149424 : заявл. 15.12.2016 : опубл. 30.08.2017 / **О. А. Суворов**, Н. В. Лабутина [и др.] ; заявитель МГУПП. – 6 с.
40. Патент № 178083 РФ, МПК С12Q 1/24 (2006.01), С12N 11/14 (2006.01), С12М 3/04 (2006.01) Устройство для исследования процесса биообращения : № 2017130119 : заявл.

25.08.2017 : опубл. 22.03.2018 / В. М. Бахир, И. В. Козлов, **О. А. Суворов** [и др.] ; заявитель ИТЭБ РАН. – 7 с.

41. Патент № 179657 РФ, МПК C12Q 1/24 (2006.01), C12N 11/14 (2006.01), C12M 3/04 (2006.01) Устройство для биообрастания биопленки в просвете трубопроводов и воздействия дезинфицирующих средств на биопленки в проточных системах : № 2017130117 : заявл. 25.08.2017 : опубл. 21.05.2018 / А. Л. Кузнецов, М. А. Левачева, Л. Г. Ипатова, **О. А. Суворов** [и др.] ; заявитель ИТЭБ РАН. – 5 с.

42. Патент № 188140 РФ, МПК A23N 12/02 (2006.01), A01G 31/00 (2006.01) Устройство для очистки гидропонного покрытия : № 2018143379 : заявл. 07.12.2018 : опубл. 01.04.2019 / М. А. Погорелова, А. Л. Кузнецов, **О. А. Суворов** [и др.] ; заявитель ИТЭБ РАН. – 7 с.

43. Патент № 194989 РФ, МПК C12M 1/12 (2006.01), C12M 1/34 (2006.01), C12Q 1/02 (2006.01), C12N 11/14 (2006.01) Устройство для роста биопленки на внутренней поверхности трубопроводов и воздействия дезинфицирующих средств на биопленки в проточных циркуляционных системах : № 2018116021 : заявл. 27.04.2018 : опубл. 10.01.2020 / А. Л. Кузнецов, М. А. Погорелова, **О. А. Суворов** [и др.] ; заявитель ИТЭБ РАН. – 6 с.

44. Патент № 198829 РФ, МПК A01C 1/06 (2006.01), B05B 3/14 (2006.01), B05B 17/06 (2006.01) Устройство для обработки плодоовощной продукции жидкостным капельным туманом, произведенным из дезинфицирующих средств : № 2020103420 : заявл. 28.01.2020 : опубл. 29.07.2020 / М.А. Погорелова, А. Л. Кузнецов, А. И. Панаит, **О. А. Суворов** [и др.] ; заявитель ИТЭБ РАН. – 5 с.

Монографии

45. **Суворов, О. А.** Наносистемы в индустрии питания. Комплексное исследование использования нанотехнологических средств при обеспечении микробиологической безопасности пищевых производств и продуктов питания различных сроков хранения / О. А. Суворов, Г. В. Баландин. – М. : Изд-во Франтера, 2015. – 208 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-9920-0258-4. – Усл. печ. л. 13,00.

46. Погорелов, А. Г. Прогрессивная электрохимия и функциональная микроскопия биоструктур в агропищевых и биотехнологиях / А. Г. Погорелов, В. М. Бахир, Л. Г. Ипатова, М. А. Погорелова, М. А. Левачева, **О. А. Суворов** [и др.]. – М. : Изд-во Франтера, 2018. – 270 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-94009-163-9. – Усл. печ. л. 16,88.

47. Погорелова, М. А. Биопленки в АПК: архитектура, функция и дезинтеграция / В. М. Бахир, И. В. Козлов, А. Л. Кузнецов, А. Г. Погорелов, М. А. Погорелова, **О. А. Суворов**. – М. : Изд-во Франтера, 2020. – 156 с. – 500 экз. – ISBN 978-5-94009-175-2. – Усл. печ. л. 9,75.

Статьи в отраслевых периодических изданиях, сборниках научных трудов, материалах конференций, СМИ и т.д.

48. Лабутина, Н. В. Замороженные сбивные мучные полуфабрикаты в производстве хлебобулочных изделий / Н. В. Лабутина, **О. А. Суворов** [и др.] // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2008. – № 10. – С. 3–6.

49. Лабутина, Н. В. Технология производства ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов / Н. В. Лабутина, **О. А. Суворов** // Хлебопек. – 2009. – № 5. – С. 24–27.

50. Лабутина, Н. В. Современные криотехнологии в хлебопечении / Н. В. Лабутина, **О. А. Суворов** [и др.] // Сб. матер. НПК «Современное хлебопекарное производство: перспективы развития». – Екатеринбург: УрГЭУ, 2011. – С. 11–15.

51. **Суворов, О. А.** Общественное питание и нанотехнологии. Вред или польза? / О. А. Суворов [и др.] // Сб. матер. НПК «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины». – М.: МГУПП, 2013. – С. 50–52.

52. Podkopaev, D. O. Special Ways of Using of Nanoparticles in Food Industry / D. O. Podkopaev, **O. A. Suvorov** [et al.] // Food processing industry. – 2013. – N 2. – P. 4–6.
53. 工学博士教授拉布金娜工学博士苏沃罗夫工学博士马克西莫夫硕士生波德科帕耶夫硕士生巴兰金硕士生格列科娃本科生波杜什金娜研究在面包生产工业中利用具有生物杀灭性能的纳米材料的使用效率。莫斯科食品大学参加中国国际高新技术成果交易会的科技项目俄罗斯教科部联合展团中国深圳，2013年16–21日11–13 (Лабутина, Н. В. Разработка, исследование и анализ эффективности использования наноматериалов с биоцидными свойствами в хлебопекарной промышленности / Н. В. Лабутина, **О. А. Суворов**, Д. А. Максимов, Д. О. Подкопаев, Г. В. Баландин, А. В. Грекова, А. Ю. Подушкина // Научно-технические проекты МГУПП на международной выставке высоких технологий China Hi-Tech Fair 2013, Объединенная экспозиция Минобрнауки России, КНР, г. Шенчжень, 16–21.11.2013. – С. 11–13).
54. **Суворов, О. А.** Хлебобулочные изделия различных сроков хранения при использовании современных технологий / О. А. Суворов [и др.] // Пищевая индустрия. – 2014. – № 2. – С. 32–33.
55. **Суворов, О. А.** Влияние вида упаковки на сохранность ржано-пшеничного хлеба / О. А. Суворов [и др.] // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2014. – № 7. – С. 21–23.
56. **Суворов, О. А.** Исследование антимикробной активности коллоидных растворов наночастиц серебра для обеспечения микробиологической безопасности продуктов питания / О. А. Суворов [и др.] // Сб. трудов «Инновационные технологии обеспечения безопасности и качества продуктов питания. Проблемы и перспективы». – М.: МГУПП, 2014. – С. 85–89.
57. **Суворов, О. А.** Способ применения наночастиц серебра в пищевой промышленности / О. А. Суворов [и др.] // Сб. матер. НПК «Товароведение, общественное питание и технологии хранения продовольственных товаров». – М.: МГУПП, 2014. – С. 165–167.
58. Баландин, Г. В. Селективное действие наночастиц серебра против бактерий и грибов / Г. В. Баландин, **О. А. Суворов** // Сб. статей «Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд». Прил. к сб. «Теория и практика длительного хранения». – М.: НИИПХ Росрезерва, 2014. – С. 61–63.
59. Баландин, Г. В. Изучение бактерицидных свойств наночастиц серебра при воздействии на микроорганизмы пищевых производств / Г. В. Баландин, Г. А. Ермолаева, **О. А. Суворов** // Сб. докладов НПК «Научно-техническое творчество молодежи - путь к обществу, основанному на знаниях». – М.: МГСУ, 2014. – С. 379–384.
60. Фролова, Ю. В. Способы обеспечения качества и безопасности мясной продукции в процессе хранения / Ю. В. Фролова, А. В. Федотова, **О. А. Суворов** [и др.] // Сб. матер. НПК «Товароведение, общественное питание и технологии хранения продовольственных товаров». – М.: МГУПП, 2014. – С. 172–173.
61. Balandin, G. Selective Action of Silver Nanoparticles Against Bacteria and Fungi / G. Balandin, **O. Suvorov** [et al.] // Gemeinsamen Konferenz von DGHM und VAAM. – Dresden: BIOSpektrum, 2014. – P. 289–290.
62. **Суворов, О. А.** Серебряные обереги. Нано- и криотехнологии продлевают свежесть продуктов / О. А. Суворов [и др.] // Ежедневная газета научного сообщества «Поиск». – М.: Российская академия наук, 2015. – № 8. – С. 9.
63. **Суворов, О. А.** Применение нанотехнологий в целях обеспечения безопасности продуктов питания различных сроков хранения / О. А. Суворов [и др.] // Сб. трудов «Пища. Экология. Качество». – М.: Ареал, 2015. – С. 68–76.

64. Лабутина, Н. В. Технологические решения проблемы продления срока хранения хлебобулочных изделий / Н. В. Лабутина, **О. А. Суворов** // Тезисы НПК «Хлебобулочные, кондитерские и макаронные изделия XXI века». – Краснодар: КубГТУ, 2015. – С. 27–32.
65. Фролова, Ю. В. Микробиологические аспекты использования полимерных покрытий в технологии мясных колбас / Ю. В. Фролова, О. В. Бредихина, К. А. Собянин, **О. А. Суворов** [и др.] // Сб. матер. НПК «Инновации в товароведении, общественном питании и длительном хранении продовольственных товаров». МГУПП, НИИПХ Росрезерва. – М.: Франтера, 2015. – С. 116–117.
66. Никифорова, А. Л. Использование низкотемпературной плазмы для обработки овощного сырья / А. Л. Никифорова, **О. А. Суворов** // Сб. матер. НПК «Инновации в товароведении, общественном питании и длительном хранении продовольственных товаров». МГУПП, НИИПХ Росрезерва. – М.: Франтера, 2015. – С. 180–182.
67. **Суворов О. А.** Комплексное научное исследование безопасности технологических процессов и продуктов различных сроков хранения при использовании нано- и криотехнологий / О. А. Суворов // Сб. матер. НПК «Инновации в товароведении, общественном питании и длительном хранении продовольственных товаров». МГУПП, НИИПХ Росрезерва. – М.: Франтера, 2015. – С. 211–218.
68. Сулова, А. А. Сублимированные ягоды в технологии кондитерских изделий / А. А. Сулова, И. С. Краснова, Н. Д. Посохов, **О. А. Суворов** // Сб. матер. НПК «Инновации в товароведении, общественном питании и длительном хранении продовольственных товаров». МГУПП, НИИПХ Росрезерва. – М.: Франтера, 2015. – С. 234–239.
69. Balandin, G. Applying Silver Nanoparticles to Ensure the Safety of Food Production Processes / G. Balandin, **O. Suvorov** [et al.] // World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship - Conference Book. – Istanbul: Istanbul University, 2015. – P.119–120.
70. Погорелов, А. Г. Влияние электрохимически активируемого раствора на регенерацию тонкой кишки: прогноз и эксперимент / А. Г. Погорелов, В. М. Бахир, Л. Г. Ипатова, **О. А. Суворов** [и др.] // Вопросы питания. – 2016. – Т. 85, № S2. – С. 29.
71. **Суворов, О. А.** Влияние наночастиц серебра на микробиологические показатели зерна / О. А. Суворов [и др.] // Сб. трудов НПК «Прогрессивные технологии в индустрии питания». – М.: МГУПП, 2016. – С. 125–127.
72. **Суворов, О. А.** Специальные технологические приемы повышения эффективности, качества и безопасности в птицеводстве / О. А. Суворов [и др.] // Сб. статей НПК «Инновационные технологии в пищевой промышленности». – Самара: СамГТУ, 2016. – С. 33–36.
73. **Суворов, О. А.** Технологические приемы борьбы с листериозом, сальмонеллезом, болезнями, вызываемыми бактериями группы кишечной палочки / О. А. Суворов [и др.] // Сб. трудов НПК «Вопросы продовольственного обеспечения в XXI веке». – М.: МГУПП, 2016. – С. 288–291.
74. Погорелов А. Г. Разрушение микробных биопленок как фактор повышения микробиологической безопасности на предприятиях агропромышленного комплекса / А. Г. Погорелов, В. М. Бахир, Л. Г. Ипатова, М. А. Левачева, **О. А. Суворов** // Сб. матер. НПК «Пищевые инновации и биотехнологии». – Кемерово: КемТИПП(У), 2016. – С. 498–505.
75. Бахир, В. М. Микробные биопленки: механизмы образования и взаимодействия с окружающей средой, новые подходы к разрушению биопленок / В. М. Бахир, Л. Г. Ипатова, **О. А. Суворов** [и др.] // Труды НПК «Пища. Экология. Качество». – Красноярск: Красноярский ГАУ, 2016. – С. 125–130.
76. **Suvorov, O.** Impact of Silver Nanoparticle Suspensions on Mixtures of Fungal and Bacterial Microorganisms of Food Production / O. Suvorov [et al.] // 13th International Conference on Nanosciences & Nanotechnologies. – Thessaloniki: NN16, 2016. – P. 183.

77. **Суворов, О. А.** Разработка способов устойчивости мясных полуфабрикатов при хранении / О. А. Суворов [и др.] // Сб. матер. НПК «Достижения и перспективы современной науки». – Астана: Мир науки, 2017. – № 4. – С. 23–27.
78. **Суворов, О. А.** Электростатическая обработка полуфабрикатов и готовых блюд для повышения качества и безопасности / О. А. Суворов [и др.] // Мат. конф. с элементами научной школы «Качество и экологическая безопасность пищевых продуктов и производств». – Тверь: ТГУ, 2017. – С. 81–84.
79. Подушкина, А. Ю. Молоко и кисломолочные продукты как источник листериоза / А. Ю. Подушкина, Н. В. Рубан, **О. А. Суворов** // Товаровед продовольственных товаров. – 2017. – № 8. – С. 17–22.
80. Погорелова, М. А. Экспериментальное моделирование биопленки: структура, дезинтеграция и визуализация / М. А. Погорелова, А. Л. Кузнецов, **О. А. Суворов** [и др.] // Сб. трудов Никитского ботанического сада. – Ялта: ГНБС, 2017. – № 144. – С. 152–155.
81. **Суворов, О. А.** Ресурсосбережение в индустрии питания. Хранение и эффективное использование пищевых продуктов / О. А. Суворов // Сб. матер. НПК «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука». – М.: МГУПП, 2017. – С. 93–96.
82. Никифоров, Л. Л. Очистка сточных вод с рециркуляцией стока на мясоперерабатывающих предприятиях / Л. Л. Никифоров, М. А. Шанк, Г. В. Парамонов, **О. А. Суворов** // Сб. матер. НПК «Развитие пищевой и перерабатывающей промышленности России: кадры и наука». – М.: МГУПП, 2017. – С. 110–113.
83. Дечева, Е. И. Повышение эффективности использования, продление сроков свежести и обеспечение безопасности животного сырья, при помощи современных разработок "зеленой химии" / Е. И. Дечева, **О. А. Суворов** // Сб. матер. НПК «Пищевая индустрия и общественное питание: современное состояние и перспективы развития». – Самара: СамГТУ, 2017. – С. 64–70.
84. **Суворов, О. А.** Физико-химические методы очистки и обеззараживания в АПК: "зеленые" технико-технологические решения / О. А. Суворов [и др.] // Сб. матер. НПК «Пищевая индустрия и общественное питание: современное состояние и перспективы развития». – Самара: СамГТУ, 2017. – С. 211–215.
85. Сактаганова, В. Д. Анализ перспектив развития организации контроля качества и безопасности на предприятии бортового питания / В. Д. Сактаганова, **О. А. Суворов** // Сб. матер. конф. «День науки». – М.: МГУПП, 2017. – С. 155–163.
86. Кирсанов, К. В. Применение окислительно-восстановительного потенциала воды в пищевой индустрии и медико-социальных технологиях / К. В. Кирсанов, **О. А. Суворов** // Сб. матер. конф. «День науки». – М.: МГУПП, 2017. – С. 206–214.
87. Погорелов, А. Г. Микробные биопленки: влияние электрохимически активированных водных растворов на микроструктуру полимерного матрикса / А. Г. Погорелов, Л. Г. Ипатова, М. А. Левачева, **О. А. Суворов** [и др.] // Сб. матер. НПК «Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации». – Минск: Мир науки, 2017. – С. 68–75.
88. Погорелова М. А. Электронная микроскопия биопленки, сформированной в условиях лабораторного стенда / М. А. Погорелова, А. Л. Кузнецов, М. А. Левачева, **О. А. Суворов** [и др.] // Актуальные вопросы биологической физики и химии. – 2017. – № 1. – С. 40–43.
89. **Suvorov, O. A.** Secondary Raw Material Use Efficiency Improvement in Agriculture / O. A. Suvorov [et al.] // Modern Science. – 2017. – N 3. – P. 45–49.
90. **Суворов, О. А.** Ресурсосберегающие способы антимикробного воздействия электрохимически активированных растворов на предприятиях индустрии питания / О. А. Суворов [и др.] // Сб. матер. НПК «Наука и инновации: векторы развития». – Барнаул: Алтайский ГАУ, 2018. – С. 118–121.

91. Погорелова, М. А. Разрушение биопленки посредством электрохимически активированной воды / М. А. Погорелова, А. И. Панаит, **О. А. Суворов** [и др.] // Матер. Пушкинской школы-конф. «Биология – наука XXI века». – Пушкино: Синхробук. – 2018. – С. 398–399.
92. Погорелов, А. Г. Экологически чистая система удаления бактериальной пленки / А. Г. Погорелов, А. Л. Кузнецов, **О. А. Суворов** [и др.] // Сб. матер. НПК «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность». – Севастополь: СГУ, 2018. – С. 947–950.
93. **Суворов, О. А.** Повышение эффективности использования и микробиологической безопасности рыбы / О. А. Суворов [и др.] // Сб. трудов НПК «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста». – М.: МГУПП, 2018. – С. 621–627.
94. Pogorelova, M. A. Electrochemically Reduced Water Removes Biofilm Formed with Lactic Bacteria / M. A. Pogorelova, A. L. Kuznetsov, **O. A. Suvorov** [et al.] // Russian Journal of Biological Physics and Chemistry. – 2018. – Vol. 3, N 2. – P. 447–450.
95. Погорелов, А. Г. Разрушение бактериальной пленки посредством католита / А. Г. Погорелов, А. Л. Кузнецов, **О. А. Суворов** [и др.] // Сб. матер. НПК «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность». – Севастополь: СГУ, 2019. – С. 1289–1293.
96. Погорелова, М. А. Актуальные проблемы микробиологического заражения и дезинфекции трубопроводов на предприятиях молочной промышленности / М. А. Погорелова, А. Л. Кузнецов, **О. А. Суворов** [и др.] // Переработка молока. – 2019. – № 5. – С. 62–65.
97. Кочергина, Д. В. Физико-химические методы обработки зерна для обеспечения микробиологической безопасности готового продукта / Д. В. Кочергина, **О. А. Суворов** // Сб. матер. НПК «Вопросы науки и образования: теоретические и практические аспекты». – Прага: Vydavatel «Osvícení», Мир науки, 2019. – С. 44–54.
98. **Суворов, О. А.** Криоэлектрохимическая технология повышения безопасности и пролонгация срока хранения рыбы / О. А. Суворов // Health, Food & Biotechnology. – 2019. – Т. 1, № 3. – С. 84–91.
99. **Суворов, О. А.** Сравнительный анализ микробиологических показателей качества поверхности плодоовощных продуктов, обработанных водой и электрохимически активированным водным раствором / О. А. Суворов [и др.] // Евразийский союз ученых. – 2020. – № 3, Ч. 2. – С. 4–8.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АДВ – активноедействующее вещество; **БГКП** – бактерии группы кишечных палочек; **ГКПМ** – государственная коллекция патогенных микроорганизмов; **ЖЦ** – жизненный цикл; **КМАФАнМ** – количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов; **МИК** – минимальная ингибирующая концентрация; **МКБ** – молочнокислые бактерии; **НПК** – научно-практическая конференция; **НТП** – низкотемпературная плазма; **НЧС** – наноразмерные частицы серебра; **ОМЧ** – общее микробное число; **ОВП** – окислительно-восстановительный потенциал; **ПВХ** – поливинилхлорид; **СГР** – свидетельство о государственной регистрации; **ЭСО** – электростатическая обработка; **ЭСП** – электростатическое поле; **ЭХА** – электрохимическая активация; **ЭХАР** – электрохимически активированный раствор; **NOAEL** (No-Observed-Adverse-Effect Level) – уровень отсутствия наблюдаемого неблагоприятного воздействия; **Real-time PCR** (Real-Time Polymerase Chain Reaction) – полимеразная цепная реакция в реальном времени; **SEM** (Scanning Electron Microscopy) – сканирующая электронная микроскопия; **ToF-SIMS** (Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry) – времяпролетная масс-спектрометрия вторичных ионов.

SUMMARY

The research is dedicated to the development of the theory, methodology and practice of quality and safety assurance of food products during their life cycle. The scientific and methodological substantiation was based on the results of microbiological, spectral, microscopic, genetic, molecular, organoleptic, physico-chemical analysis and mathematical processing. The use of nano- and cryotechnology methods, sublimation, low-temperature plasma, electrochemically activated solutions and electrostatic processing ensured the stability of food raw materials and products, and extension of their shelf life. We observed the improvement of certain microbial characteristics: reduction in Total Plate Count, destruction of biofilms, inactivation of *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* with an efficiency of up to 99 %. The developed integrated and particular technical and technological methods contribute to resolving the complex problem of increasing efficiency, environmental friendliness, economy and resource preservation in public catering. Implementation of the described methods could benefit the challenges of grain stabilization, water disinfection, non-spread of foodborne diseases. The proposed systematic approach can be scaled up to the agro-industrial complex, at food trade facilities and in the organization of mass catering.