

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ»

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

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
доктор технических наук, профессор  
**Лабутина Наталья Васильевна**

Москва – 2021

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	7
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 .....	24
1.1 Контаминация производственной среды. Пищевая безопасность .....	24
1.1.1 Проблемы биологической безопасности при производстве продуктов питания .....	27
1.1.2 <i>Listeria monocytogenes</i> и листериоз .....	29
1.2 Методы снижения микробиологической контаминации .....	31
1.3 Стратегия противодействия инфекции в индустрии питания .....	35
1.3.1 Технология получения и применение электрохимически активированных растворов для обеспечения безопасности пищи .....	37
1.3.2 Электрохимическая активация в технологиях пищевых производств и ее влияние на организм человека .....	44
1.3.3 Формирование биопленки и оценка эффективности методов ее удаления .....	57
1.3.4 Предпосылки развития микробиологического заражения застойных зон магистралей водопроводных и иных систем.....	60
1.3.5 Исследование и анализ лабораторных методов культивирования биопленок.....	61
1.4 Сублимация и электростатическая обработка как технология пролонгации срока годности, обеспечения безопасности и качества продуктов питания.....	65
1.5 Преимущества низкотемпературной плазмы (НТП), ее получение и применение .....	66
1.5.1 Применение НТП для инактивации бактерий .....	67
1.5.2 Применение НТП для разрушения биопленок .....	70
1.5.3 Использование НТП для обработки пищевых продуктов .....	71
1.6 Научно-практические и правовые аспекты применения материалов и технологий с наносоставляющей .....	75

1.6.1 Современное состояние и перспективы использования нанотехнологий в пищевой промышленности.....	75
1.6.2 Перспективы развития нанотехнологий в области обеспечения биологической безопасности .....	78
1.6.3 Научно-практические аспекты применения наносистем в пищевых производствах .....	80
1.6.4 Способы обеспечения качества и безопасности пищевой продукции в процессе хранения .....	85
1.6.5 Безопасность технологических процессов и продуктов различных сроков хранения при использовании нано- и криотехнологий .....	87
1.6.6 Правовые аспекты применения материалов и технологий с наносоставляющей .....	91
1.7 Заключение по аналитическому обзору, обоснование направления авторского исследования, его цели и задач.....	93
<b>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 .....</b>	<b>98</b>
2.1 Организация работы и структура исследования .....	98
2.1.1 Схема организации и проведения исследования.....	98
2.1.2 Объект и предмет исследования.....	102
2.2 Стандартные, аналитические и специальные методы исследования и визуализации структуры .....	102
2.3 Физико-химические методы обеспечения биологической безопасности в индустрии питания .....	112
2.4 Заключение по второй главе.....	118
<b>ГЛАВА 3 РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПАРЕТО-ЭФФЕКТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ТОВАРОВ НА ЭТАПАХ ИХ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ И КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ.....</b>	<b>120</b>
3.1 Парето-эффективное производство продовольственных товаров .....	120
3.2 Общая оценка обеспечения качества жизненного цикла продукта на всех стадиях.....	127

3.3 Заключение по третьей главе.....	129
<b>ГЛАВА 4 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ, ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОДАВЛЕНИЯ МИКРОБНОЙ КОНТАМИНАЦИИ ЗЕРНА И РЕГЕНЕРИРУЕМЫХ ДРОЖЖЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ СЕРЕБРА .....</b>	<b>130</b>
4.1 Микробиологическая стабилизация зернового сырья.....	130
4.2 Антибактериальная обработка дрожжей .....	134
4.3 Антибактериальное действие наноразмерных частиц серебра на микроорганизмы зерновых культур .....	138
4.4 Изучение антимикробной активности препаратов НЧС, приготовленных с использованием пищевых стабилизаторов.....	148
4.5 Оценка эффективности использования наноматериалов с биоцидными свойствами в хлебопечении .....	156
4.6 Заключение по четвертой главе.....	174
<b>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.....</b>	<b>177</b>
5.1 Высокоэффективные технологические решения обеспечения безопасности и пролонгации срока годности продовольственного сырья растительного происхождения.....	177
5.2 Высокоэффективные технологические решения обеспечения безопасности и пролонгации срока годности продовольственного сырья животного происхождения .....	182
5.2.1 Криоэлектрохимическая технология обеспечения безопасности и пролонгации срока хранения рыбы .....	182
5.2.2 Обеспечение биологической безопасности мяса.....	192
5.2.3 Разработка технологических решений и определение рабочего режима бесхлорной обработки мяса птицы .....	196
5.3 Заключение по пятой главе.....	203
<b>ГЛАВА 6 ОБОСНОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ТРЕБУЕМЫХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ ПРИ ХРАНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ И ЭСО .....</b>	<b>205</b>



6.1 Развитие вакуумной сублимационной сушки спектра термолабильных материалов .....	205
6.2 Электростатическая обработка полуфабрикатов, готовых блюд, водных растворов и жидких продуктов.....	219
6.3 Заключение по шестой главе .....	228
<b>ГЛАВА 7 РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ И ЭКОЛОГИЧНЫХ ПРИЕМОМ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АПК И ИНДУСТРИИ ПИТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ БИОПЛЕНКИ МИКРООРГАНИЗМОВ МЕТАСТАБИЛЬНЫМИ ОКСИДАНТАМИ .....</b>	<b>231</b>
7.1 Предпосылки развития микробиологического заражения. Создание экологически чистой системы обеззараживания объектов индустрии питания.....	231
7.2 Моделирование системы обеззараживания сообществ микроорганизмов на поверхностях. Разработка испытательного стенда для формирования и дезинтеграции биопленки.....	235
7.3 Исследование ингибирующего действия ЭХАР на развитие биопленки в производственном цикле .....	240
7.4 Дезинтеграция биопленки, сформированной планктонными формами композиции МКБ и <i>E.coli</i> .....	248
7.5 Экспериментальное моделирование бактериальной пленки, сформированной в циркуляционном реакторе бинарной композицией микроорганизмов в условиях застойной зоны .....	258
7.6 Генетический PCR-RT анализ эффективности обработки биопленки электрохимически активированным водным раствором .....	263
7.7 Молекулярный анализ чистоты поверхности на основе масс-спектропии вторичных ионов (ToF-SIMS) биомолекул.....	268
7.8 Экспериментальное моделирование бактериальной пленки, сформированной в циркуляционном реакторе бинарной композицией микроорганизмов в зависимости от способа обработки .....	271
7.9 Разработка режима обеззараживания биоцидным раствором модельного трубопровода сложной конфигурации с застойными зонами.....	276
7.10 Заключение по седьмой главе.....	278
<b>ГЛАВА 8 ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПРЕДЛОЖЕННЫХ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНОЙ ЗНАЧИМОСТИ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ОБЕСПЕЧЕНИИ</b>	

БЕЗОПАСНОСТИ И КОМПЛЕКСНОГО РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ИНДУСТРИИ ПИТАНИЯ .....	282
8.1 Жизненный цикл продукта: обеспечение безопасности и ресурсосбережения .....	282
8.2 Производственные испытания и апробация результатов исследования. Социальная значимость и технико-экономическая эффективность предложенных технико-технологических решений .....	285
8.3 Заключение по восьмой главе.....	295
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	297
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ .....	301
СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ.....	303
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	304
Приложение А – Результаты интеллектуальной деятельности (листы описания)	366
Приложение Б – Методические и практические рекомендации для персонала предприятий по переработке растительной продукции, предприятий общественного питания и объектов продовольственной торговли системы сельского хозяйства и продовольствия Московской области .....	375
Приложение В – Технологическая инструкция по применению электрохимически активированных растворов на предприятиях общественного питания, пищевой и биотехнологической промышленности ТИ 56.29.19-006-02068634-2020 .....	378
Приложение Г – Акты о проведении апробации результатов исследований, производственных испытаний и о внедрении .....	379

## ВВЕДЕНИЕ

**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 экологичных 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». 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 посвящена 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. Но 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 применение 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, К.А. Fabrizio, М. Ozaki, Т. 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 применительно к индустрии питания на современном этапе ее развития также изучены недостаточно. Учитывая достижения науки и технологий, представлялось целесообразным расширение сфер применения 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 зависи-

мость устойчивости биопленки к действию слабоминерализованной (менее 0,9 г/дм<sup>3</sup>) 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. claussenii*, *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 использования ЭХАР для обеспечения 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, кормовых и 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 белокочанной 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/см<sup>3</sup> 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 термолabileльных 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 Nanotrac Zetatrac (Microtrac Inc, США) исследовали дисперсность НЧС в препаратах «Коллоидное 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.Е.007989.05.12) и «КНДС-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*), *Micrococ-*

*cus 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 уникальные 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 «Эвиталия» (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). Ультраструктурный 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 или 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 продуктов 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. Пущино – 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 про-

дуктов 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.

Диссертация изложена на 360 страницах 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 продо-

вольственного 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.

# 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

## 1.1 Контаминация производственной среды. Пищевая безопасность

Согласно основным положениям политики государства в области питания удовлетворение потребностей населения в безопасных пищевых продуктах и услугах является необходимым и своевременным условием сохранения здоровья и укрепления генофонда нации.

Основной задачей пищевой промышленности является производство безопасных и качественных продуктов питания. Выполнение этих требований обеспечивается соблюдением санитарно-эпидемиологических правил и норм, важную роль в этом играет использование рациональных технологических режимов мойки и дезинфекции оборудования [Маневич, 2010; Moreira, 2015; Tamura, 2017]. Режим санитарии для каждого типа оборудования должен быть индивидуальным с учетом различного состава микрофлоры, образующегося на нем во время использования [Göransson, 2012].

Для производства безопасных пищевых продуктов первостепенное значение имеют низкое содержание КМАФАнМ и отсутствие патогенной микрофлоры. Развитие инфекционного процесса обусловлено способностью микроорганизмов размножаться в пищевых продуктах, при этом микроорганизмы могут быть патогенными и условно-патогенными [Рогов, 2007; Осадченко, 2017; Teodósio, 2012].

Наличие бактерий семейства *Enterobacteriaceae*, в частности БГКП, в пищевых продуктах и на поверхностях оборудования, доказывает низкий уровень гигиены и указывает на нарушения термической обработки продуктов, что также может происходить и в случае сбоя процесса мойки и дальнейшего загрязнения продуктов. Способность энтеробактерий заселять различные ниши с некачественной дезинфекцией может быть использована для оценки гигиены и санитарии на производстве [Федоренко, 2016; Pelat, 2016].

Болезни пищевого происхождения лидируют во многих странах [Подволоцкая, 2016; Шестакова, 2017]. Диарейные заболевания особенно опасны для детей до 5 лет, занимают третье место по смертности после респираторных заболеваний у детей и перинатальной патологии. Обеспечение населения качественными и безопасными продуктами питания является основной задачей общественного питания.

Основной подход микробиологического контроля основан на определении степени контаминации в исходном и конечном продукте. Из-за нарушения условий хранения и технологии приготовления блюд существует пищевой путь передачи инфекции. Особое внимание необходимо уделить способности микроорганизмов приобретать резистентность к антисептикам и дезинфицирующим средствам. Так, ученые выявили устойчивость к соединениям четвертичного аммония у листерии (10 %), бактерий рода *Staphylococcus* (13 %) и *Pseudomonas spp.* (30 %), у молочнокислых бактерий (МКБ, 1,5 %) и колиформных бактерий (1 %), выделенных из пищевых продуктов и оборудования в пищевой промышленности [Шкарин, 2011]. Изучена устойчивость микрофлоры к антибиотикам и к дезинфицирующим средствам [Николаев, 2011; Тонко, 2019; Founou, 2016; Gunawan, 2017].

Способность микроорганизмов адаптироваться к неблагоприятным условиям окружающей среды и использование дезинфицирующих средств приводит к образованию устойчивых штаммов бактерий на промышленных предприятиях.

На пищевых предприятиях контаминация производственной среды и контакт продукции с обсемененными поверхностями оборудования, внутренних

стенках водопроводов или продуктопроводов приводит к микробиологической контаминации пищевой продукции и потере качества. Гигиенические нормативы определяют отсутствие или максимально допустимое количество различных групп микроорганизмов [Единые СЭиГТ, 2010; ТР ТС 021/2011].

Микробная и вирусная контаминация пищевых продуктов и оборудования производств общественного питания является причиной пищевых заболеваний, которые могут приводить к ряду других тяжелых болезней (рак, артрит и др.) [ВНО, 2007]. Пищевые отравления также могут быть вызваны различными химикатами и дезинфектантами, используемыми в АПК.

Обеспечение биологической безопасности осложняется развитием резистентности микроорганизмов к применяемым антибиотикам и способностью многих патогенных и условно-патогенных бактерий (*Escherichia coli*, *Yersinia enterocolitica* и др.) к образованию на оборудовании пищевой индустрии биопленок, затрудняющих элиминацию микробиологической обсемененности [Чернявский, 2013; Сироткин, 2015; Deza, 2007; Stopforth, 2008; Lelieveld, 2016].

Одним из эффективных способов замедления роста и уничтожения микроорганизмов продуктов питания [Джей, 2012; Просеков, 2018; Vohinc, 2015] является тепловая обработка, температурный режим которой, эффективно обеспечивающий гибель контаминантов, приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Температурный режим гибели бактерий и микроорганизмов

Наименование бактерии/микроорганизма	Температурный режим, °С	Время гибели, мин
<i>Trichinella</i>	50	570
<i>БГКП</i>	60	15
<i>Campylobacter</i>	60	1-15
<i>Brucella</i>	60-65	20-30
<i>Listeria</i>	70	15-20
<i>Salmonella</i>	75	10
<i>Staphylococcus aureus</i>	70-80	20-30
<i>Trichinella spiralis</i>	80	240
<i>Taeniarrhynchus saginatus</i>	80	2-3
<i>Bacillus anthracis</i>	140	120

Согласно данным ВОЗ самая опасная температура для продуктов питания составляет от 5°C до 60°C, когда микроорганизмы быстро размножаются.

Важную роль в питании выполняют овощи. Взрослый человек, придерживающийся принципов здорового питания, должен съесть как минимум 400 г (пять порций) овощей каждый день [Краузова, 2015]. Однако остается недооцененной эпидемиологическая актуальность проблемы микробиологической обсемененности овощного сырья. Растения являются передатчиками листерий, иерсиний, сальмонелл и эшерихий. Употребление продуктов растительного происхождения часто связано с заболеваемостью листериозом, иерсиниозом, сальмонеллезом и эшерихиозом [Персиянова, 2008; Brandl, 2006].

### 1.1.1 Проблемы биологической безопасности при производстве продуктов питания

Несмотря на значительные усилия для повышения биологической безопасности продуктов питания микроорганизмы могут попадать в продукты на разных этапах производства и приспосабливаться к различным условиям окружающей среды. В последние годы стандарты пищевой безопасности стали значительно строже во многих странах [Van Kreijl, 2006], и внимание общественности сместилось на другие проблемы, связанные с пищей: ожирение и нездоровое питание. Однако, даже в индустриально развитых странах все еще существует значительная доля заболеваний пищевого происхождения. Например, в Нидерландах регистрируется около 700000 случаев заболеваний и 80 смертей в год от пищевых отравлений [Havelaar, 2008].

Известен рост доли вспышек пищевых отравлений, связанных уже не с продуктами животного происхождения, а с продуктами, готовыми к употреблению

[Pontrelli, 2008]. Кроме того, идентифицируются и новые угрозы. Пищевая промышленность сталкивается с новыми рисками в связи с изменяющимися характеристиками микроорганизмов, изменениями технологий производства, изменениями в окружающей среде и увеличением глобальной торговли продуктами питания. К тому же, неуклонно увеличиваются требования к пищевой безопасности.

Увеличение спроса на свежие, минимально обработанные овощи, привело к увеличению их ассортимента, доступного потребителю. Такие продукты продаются как по отдельности, так и в сочетании с другими овощами.

После минимальной обработки на овощах может сохраняться их микрофлора, в которой могут быть и патогенные микроорганизмы. На овощах встречается большое число микроорганизмов ( $10^5$ - $10^7$  КОЕ/г). От 80 до 90 % из них составляют грамотрицательные, такие как *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Erwinia* [Magnuson, 1990]. МКБ обнаруживаются в салатах, хранящихся при повышенных температурах. Наиболее часто встречающимися среди мицелиальных грибов являются *Aureobasidium*, *Fusarium*, *Mucor*, *Phoma*, *Rhizopus*, *Penicillium*.

Сырые овощи могут быть контаминированы патогенными микроорганизмами в момент поступления на производство. Тем не менее, загрязнение может произойти и в процессе производства и продажи. Развитие патогенных микроорганизмов на овощах зависит как от свойств микроорганизмов, так и от внутреннего строения овощей и особенностей производства.

Контаминация в процессе производства может быть связана с персоналом или оборудованием. Процесс нарезания разрушает поверхностные клетки, в результате чего происходит загрязнение оборудования. Различные механизмы для нарезки овощей могут быть потенциальными источниками контаминации, так как в них есть труднодоступные для дезинфекции участки, в которых могут находиться микроорганизмы.

Наиболее распространенными патогенами являются *Listeria monocytogenes*, *Clostridium botulinum*, *Salmonella* и *Escherichia coli*. Таким образом, увеличение спроса на минимально обработанные овощи приводит к повышенному вниманию к их биологической безопасности.



На мясокомбинатах и предприятиях общественного питания продукцию животного происхождения хранят в охлажденном и замороженном виде, однако срок хранения охлажденного мяса достаточно ограниченный и зависит от соблюдения санитарных правил и условий хранения и транспортировки. Главной причиной быстрой порчи мяса и мясных продуктов являются размножающиеся в нем психрофильные, аэробные микроорганизмы.

С целью понижения риска микробиальной порчи используют дополнительные к холоду средства, задерживающие или даже полностью подавляющие размножение психрофильных микроорганизмов: понижение влажности, повышение содержания углекислоты, обработка мяса антибиотиками, вакуумная упаковка или упаковка в непроницаемые пленки, хранение в атмосфере азота, ионизирующее облучение мяса. При этом сроки хранения увеличиваются, но со временем мясо портится из-за микроорганизмов, способных размножаться при низких температурах и в анаэробных условиях.

### 1.1.2 *Listeria monocytogenes* и листериоз

Листерии получили название от открывшего их шотландского хирурга Д. Листера. Грамположительные неспорообразующие бактерии рода листерий включают патогенные для человека и животных *Listeria monocytogenes* и четыре вида непатогенных, в числе которых *L. innocua*. *L. monocytogenes* растет в интервале температур 3-45°C, что способствует их длительному сохранению и размножению в пищевых продуктах.

Листериоз – тяжелое инфекционное заболевание животных и людей. Несмотря на относительную редкость этого заболевания, смертность от него достигает 50 %. В первую очередь листериозу подвержены люди с ослабленным имму-

нитетом, пожилые люди и беременные женщины. Кроме того, следует отметить определенную трудность в диагностике заболевания, которое протекает как менингит или, реже, энцефалит.

Начиная с восьмидесятых годов прошлого века, в странах Европы и Америки произошли многочисленные вспышки листериоза у людей, характеризующиеся тяжелым течением болезни и высокой смертностью. Первый точно установленный случай массового заболевания был зафиксирован в 1981 году в Канаде [Schlech, 1983]. В результате пострадал 41 человек. Причиной отравления стал салат из сырой белокочанной капусты. Вспышка листериоза в 1983 году в Массачусетсе (США) была связана с употреблением пастеризованного молока [Fleming, 1985]. Последующие вспышки листериоза в США и Швейцарии с 1983 по 1987 год были связаны с употреблением мягких сыров [Piffaretti, 1989]. Таким образом, различные пищевые продукты подвержены контаминации *L. monocytogenes*.

Следует отметить, что существуют и другие пути передачи листериоза, но большинство случаев заболевания связано именно с употреблением зараженных продуктов питания. Однако, инкубационный период листериоза составляет несколько недель при отсутствии типичных симптомов пищевых инфекций, что и вызывает трудности с определением конкретного источника распространения заболевания.

В масштабном исследовании, проведенном в Великобритании, из 18337 образцов пищевых продуктов в 1159 были обнаружены *L. monocytogenes*, в их числе молоко, мороженое, мягкий сыр, сырое мясо и овощи, салаты, рыба, а также готовая к употреблению продукция [McLauchlin, 1990].

Основная причина заражения продуктов связана с контаминацией после их обработки. *L. monocytogenes* может расти при температуре холодильника, относительно устойчива к соли и способна выживать длительный период времени. Эти свойства вызывают определенную настороженность в отношении охлажденных продуктов с увеличенными сроками годности. *L. monocytogenes* способна интенсивно размножаться за небольшой промежуток времени, в особенности в пищевых продуктах со значением рН более 5.

В Европе и США на сегодняшний день ведется мониторинг за подтвержденными случаями заболевания листериозом. Показано, что наиболее распространена инфекция у новорожденных детей до 1 месяца и у взрослых старше 60 лет. Также 30 % всех случаев выявляется у беременных женщин, что в 15-25 % случаев приводит к выкидышам и мертворождениям. Согласно исследованиям в США, около 11 % всех продуктов, которые хранятся в домашних хозяйствах, контаминированы листериями [CIDRAP, 2015]. В России с 2002 г. ведется обязательный анализ продуктов на наличие патогенных листерий (МУК 4.2.1122-02).

В настоящее время *L. monocytogenes* относят к возбудителям эмерджентных инфекций – болезней (и возбудителей), возникающих или появляющихся внезапно и этим обуславливающих чрезвычайные эпидемиологические ситуации, как правило, напряженные, наносящие социально-экономический ущерб [Ефимочкина, 2007, 2014, 2016]. Таким образом, несмотря на большое количество собранных данных как о самой бактерии, так и о способах распространения заболевания, листериоз как болезнь человека остается опасным и трудно диагностируемым заболеванием, главным путем передачи которого являются продукты питания.

## 1.2 Методы снижения микробиологической контаминации

Для снижения микробиологической обсемененности используются различные методы: упаковочные технологии, ионизирующее облучение, лазерное излучение, охлаждение и заморозка, обработка под давлением, температурный нагрев (в том числе стерилизация под давлением), обработка ультрафиолетовым излучением, солевыми растворами, растворами хлора, электрическим полем и др. В последнее время особое внимание также привлек к себе способ обработки низко-температурной плазмой.

*Упаковочные технологии.* Для предотвращения процессов порчи используются различные виды упаковочных решений. Упаковка с модифицированной атмосферой применяется при использовании материалов с высокой устойчивостью проникновения газов [Кушевская, 2004; Алтунина, 2010; Zhou, 2010].

Для продуктов, которые в процессе хранения продолжают «дышать», потребляя кислород и поглощая углекислый газ и водяной пар, используется другая технология, имеющая название «Упаковка в контролируемой атмосфере». Данный термин подразумевает упаковку, в которой на протяжении всего периода хранения газообразная атмосфера непрерывно меняется под влиянием таких факторов, как респирация упакованного продукта, биохимические изменения и медленное проникание газов через упаковку. Для такой упаковки подбирают специальные пленочные материалы. Технология MAP реализуется на автоматических упаковочных линиях, работающих по схеме: изготовление упаковки-заполнение-сварка [Королева, 2010]. Согласно данным [Хвостов, 2011] при применении МГС срок хранения свежего мяса увеличивается с 2-4 дней до 5-8 недель, а внедрение способа упаковывания продукции в МГС дает производителям следующие преимущества:

- увеличение сроков хранения пищевых продуктов;
- расширение географии продаж и уменьшение случаев возврата товара;
- сохранение естественного внешнего вида продукции, защита его от повреждений и выделений жидкости;
- сокращение или полное исключение применения консервантов и химических добавок;
- производство принципиально новых видов продукции с сохранением их первоначального цвета в течение всего срока хранения.

Указанные преимущества значительно снижают риски экономических потерь и микробиологической зараженности, дают возможность частичного или полного исключения консервантов. Однако MAP не является панацеей от нарушения гигиены и не улучшает качества продукта, а просто замедляет процесс естественного старения. Для MAP, как и для абсолютно всех других технологий,

использующихся для пролонгирования сроков хранения сырья и готовой продукции, необходимо соблюдать санитарные правила, личные гигиенические требования, четкую технологическую последовательность процесса, поддерживать чистоту и контролировать качество продукта [Королева, 2010].

В материал «активной» упаковки вводятся специальные компоненты, в том числе консерванты, антисептики и др. [Кузнецова, 2008; Алтунина, 2010]. Препараты Полисепт, Аллюцид универсальны, их можно наносить на полимерную упаковку для обеспечения длительной защиты мясных, хлебобулочных, рыбных, овощных продуктов, использовать для обработки поверхности сыров и колбас, а также для дезинфекции рабочей поверхности и воздуха на производственных предприятиях. Главное преимущество данных препаратов - экологичность [Снежко, 1999; Сидоренко, 2004].

Известны успешные практики использования съедобных покрытий [Семенова, 2012; Насонова, 2013; Бараненко, 2014; Quintavalla, 2002].

В университете Camson (Индия) были разработаны антимикробные, био-разлагающиеся пленки для упаковки пищевых продуктов, которые обеспечивают защиту от *Escherichia coli*, *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*. Пленка получается в результате смешивания сои, злаковых зерен с глицерином и 4 % порошка низина, таким образом, в ее составе содержится не только низин, но и ферменты [Яковлева, 1999].

Недостатком упаковочных технологий является в большей степени дорогое технологическое оборудование, в результате чего значительно повышается стоимость продукта.

*Ионизирующее облучение* с целью стерилизации одобрено к использованию ФАО и ВОЗ для обработки пищевых продуктов и сельскохозяйственной продукции, что положительно влияет на сроки их транспортировки от производителя к потребителю [Кодекс Алиментариус, 2007; Чиж, 2011; CODEX STAN, 2003]. Срок годности (при температуре  $4\pm 2^\circ\text{C}$ ) томатов после облучения пролонгируется на 14 сут, ягод - на 7 сут [Food preservation by radiation, 2011].

В настоящее время особое внимание уделяют оценке качества облученной продукции, перемещениям различного рода загрязнителей по трофическим пищевым цепочкам [Мельникова, 2001, 2006; Allen, 1991; Da Silva, 2009; Wojanowska-Czajka, 2010]. Ключевые недостатки – посторонний вкус, запах, обесцвечивание, окисление жиров и витаминов.

*Шоковую заморозку* проводят в три стадии: охлаждение, подмораживание и домораживание с обеспечением высокой скорости процессов, которая сокращает время заморозки более чем в четыре раза. Замораживание осуществляется при температурах в центре продукта от +20 до 0 °С (охлаждение), от 0 до -5 °С (подмораживание) и от -5 до -18 °С (домораживание). Несмотря на то, что главным минусом является дороговизна оборудования, они активно используются не только в крупных ресторанах или производственных предприятиях, но и на небольших предприятиях индустрии питания.

Известна *технология обработки продуктов под высоким давлением* (High Pressure Processing), ключевыми преимуществами которой является сокращение времени приготовления, возможность использования для продуктов, чувствительных к нагреву и пролонгация срока годности, а недостатками - высокая стоимость оборудования и ухудшение органолептических показателей [Лебедева, 2012].

Таким образом, инновационные технологии и упаковочные материалы позволяют улучшить качество и повысить срок годности продуктов, увеличить их конкурентоспособность. Более того, правильная упаковка способна защитить изделия от негативного воздействия окружающей среды и загрязнений, улучшить вид продукта и снизить затраты при хранении и транспортировке продуктов, что значительно сокращает экономические расходы предприятия. Все рассмотренные технологии пролонгирования свежести и сроков хранения пищевых продуктов являются эффективными, но дорогостоящими. Более того, большинство из них может обеспечивать биологическую безопасность только при условии соблюдения всех санитарно-гигиенических правил. К преимуществам использования

ЭХАР относятся отсутствие дополнительных технологий, высокая антимикробная эффективность, экономичность, экологическая и пищевая безопасность.

### 1.3 Стратегия противодействия инфекции в индустрии питания

Главную роль в экологических процессах играют микроорганизмы, участвуя в передаче энергии и вещества в пищевых сетях и в биогеохимических циклах многих элементов. Антропогенные воздействия и применение антибиотиков (АБ) в медицине и сельском хозяйстве «форсировали» эволюцию бактерий и привели к появлению среди традиционных контаминантов продовольственного сырья штаммов, резистентных к АБ, с дополнительными факторами патогенности (рисунок 1) [Perron, 2015; Ventola, 2015; Thung, 2016].



Рисунок 1 – История открытия АБ и развития АБ-резистентности  
[Из: Perron, 2015]

Широкое распространение в мире устойчивости бактерий к АБ является главной причиной ренессанса инфекционных заболеваний, поэтому насущной потребностью стали разработка и применение антибактериальных программ [Barriere, 2015; Kim, 2017; Zaman, 2017]. Устойчивость к антибиотикам поддер-

живается фильтрующей способностью полимерного матрикса, который заполняет межклеточные пространства и связывает клетки в единую структуру. Это свойство позволяет замедлить диффузию антибактериальных веществ внутрь биопленки (рисунок 2).

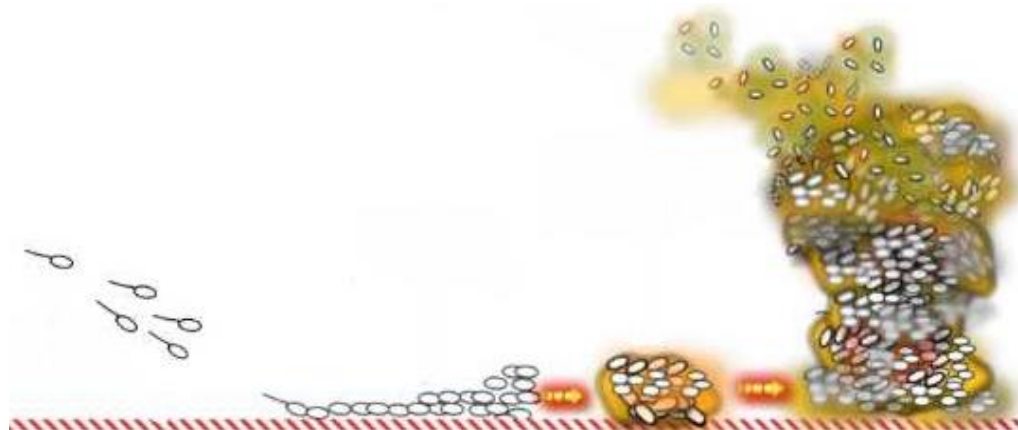


Рисунок 2 – Модель бактериальной биопленки [Из: Rendueles, 2015]

В связи с изложенным, актуальной задачей является создание новых эффективных средств обеззараживания широкого спектра действия, не наносящих вреда окружающей среде. К наиболее безопасным и экологичным технологиям можно отнести процессы обработки, основанные на внешних электрофизических воздействиях [Massey, 2013; Almasoud, 2015; D'Atanasio, 2015, 2020]. Примером служит технология получения экологически чистого, высокоэффективного раствора, не оказывающего вредного влияния на макроорганизмы (человека, животных, растений). Таким раствором является раствор хлоркислородных и гидропероксидных оксидантов в воде [Прилуцкий, 2013; Бахир, 2014], который обладает антимикробной активностью против всех видов и форм микроорганизмов, не вызывает адаптационных реакций микроорганизмов, безвреден для многоклеточных организмов и при деградации превращается в обычную пресную питьевую воду.

Технология ЭХА заменяет громоздкие химические производства и комплексы оборудования [Авторское свидетельство № 1121905, 1981; Бахир, 2014; Руденок, 2019; USA Patent 5 628 888, 1997]. Получение и применение метастабильных веществ вместо традиционных реагентов стабильного химического состава позволяет снизить расход реагентов или исключить их. Преимуществом технологии ЭХА является получение обеззараживающего раствора на месте по-



требления в необходимом количестве. Для получения обеззараживающего раствора требуется лишь вода (СанПин 2.1.4.1-74-01), соль пищевая поваренная 1-го сорта неiodированная или соль марки “Экстра”, электропитание (50 Гц и 220 В). Вырабатываемый установками раствор относится к 4 классу малоопасных веществ (ГОСТ 12.1.007-76).

Активнодействующие вещества ЭХАР – смесь оксидантов, эквивалентная по составу той, которая образуется в организмах живых существ при фагоцитозе (уничтожении инородных субстанций фагоцитами). При деградации раствор оксидантов последнего поколения (2014 год, коммерческое наименование «АНО-ЛИТ АНК СУПЕР») превращается в пресную воду с общей минерализацией менее одного грамма в литре. Активные вещества раствора не накапливаются во внешней среде, не создают пленок на поверхностях, не требуют смывания и дезактивации после применения.

### 1.3.1 Технология получения и применение электрохимически активированных растворов для обеспечения безопасности пищи

Повышение безопасности пищи актуально во всем мире. Одна из ключевых причин заболеваний – микробная контаминация продуктов [O'Brien, 2014; Sockett, 2014]. Важным является поиск методов, направленных на обеспечение биологической безопасности пищевой промышленности.

Электрохимическая активация (ЭХА) – способ безреагентного управления физико-химическими параметрами воды и водных растворов, являющийся эффективным инструментом зеленой химии. Метастабильное (активированное) состояние веществ, достигаемое в ходе ЭХА, характеризуется повышенной реакционной способностью в течение определенного времени.

Процесс ЭХА протекает при электрохимическом воздействии на вещество в зоне поляризованного электрода электрохимической системы, когда за малое время через воду проходит электрический ток большой плотности при высоком перенапряжении. В результате образуется ЭХА фракции воды – анолит у анода и католит у катода, которые обладают измененными кислотно-основными и окислительно-восстановительными свойствами. Активация вещества заключается в эффекте длительного сохранения энергии возбужденного состояния вещества при термодинамически равновесных значениях температуры и давления, а также в эффектах трансформации этой энергии в ходе химических реакций с участием активированных веществ [Сычева, 2015; Погорелов, 2018].

Экспериментами по исследованию рН и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) дистиллированной воды, подвергнутой электрохимическому воздействию у поверхности анода и катода электрохимической системы, проводимыми в течение многих лет [Бахир, 1981-2016; Вахидов, 1981; Кирпичников, 1986; Прилуцкий, 1997, 2003; Леонов, 1990, 1999; Колесниченко, 2012], установлено, что рН и ОВП анолита и католита дистиллированной воды приобретают аномальные значения в сравнении со значениями, которые рассчитаны на основе законов электролиза, а также значениями, полученными моделированием кислотно-щелочных свойств анолита и католита путем ввода в исходную дистиллированную воду кислоты и щелочи.

На рисунке 3 приведены результаты экспериментов по исследованию параметров ЭХА дистиллированной воды. Малое количество стабильных продуктов электролиза в дистиллированной воде позволяет исследовать релаксационные процессы без их мешающего влияния, но требует особых условий электрохимического воздействия, обеспечивающих соприкосновение возможно большего количества микрообъемов потока воды с поверхностью электрода и отсутствие поступления в обрабатываемую воду продуктов электрохимических реакций из камеры противэлектрода за счет электромиграции. Увеличение концентрации ионов электролитов в исходной воде от нескольких десятков до нескольких сотен миллиграммов в литре во много раз усиливает “активационную” составляющую

реакционной способности анолита и католита за счет вариации коэффициента активности в пределах, близких к единице, соответственно усиливая технологическое значение активированной воды.

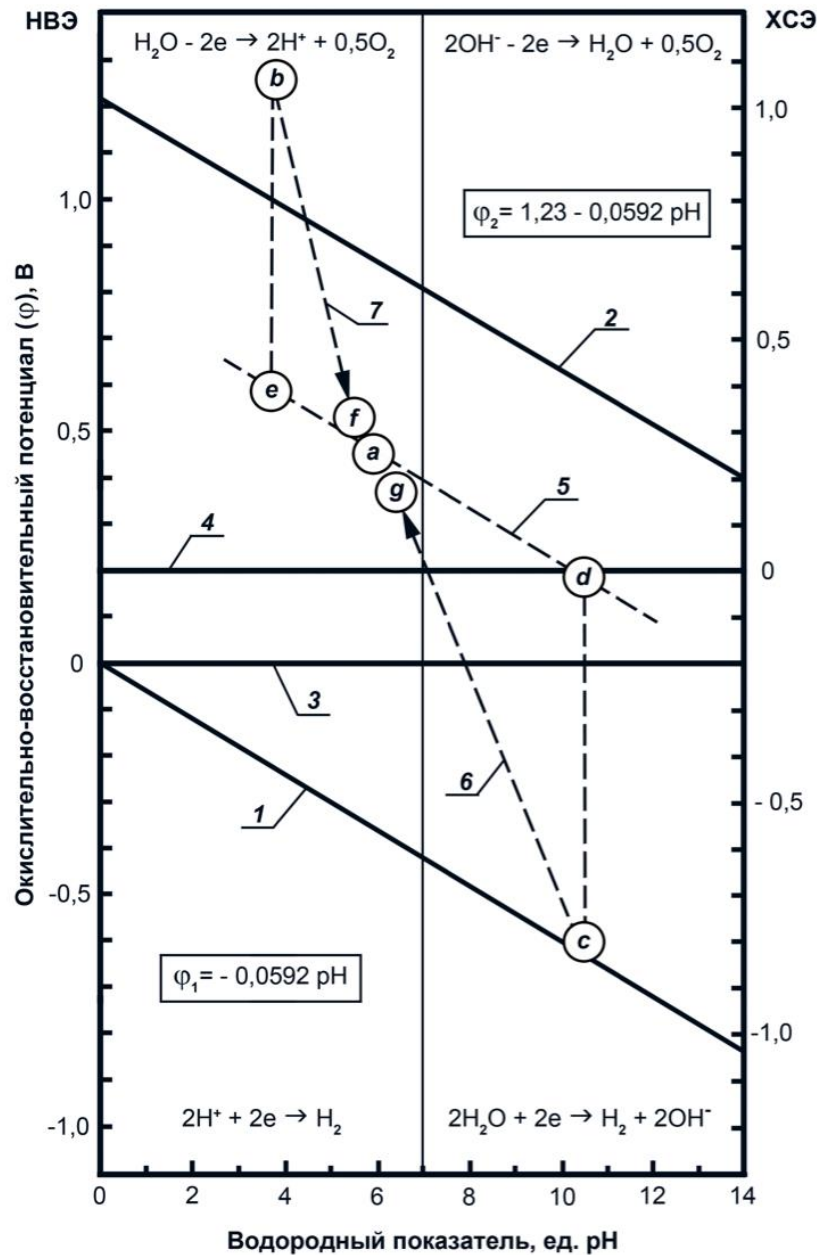


Рисунок 3 – Соотношение рН и ОВП при электрохимическом и химическом регулировании параметров дистиллированной воды, где 1 и 2 – потенциалы восстановления воды на инертном катоде ( $\varphi_1 = - 0,0592$  рН) и окисления на инертном аноде ( $\varphi_2 = 1,23 - 0,0592$  рН) соответственно; 3 и 4 - нулевые линии шкал водородного (НВЭ) и хлорсеребряного (ХСЭ) электродов сравнения; 5 – направление изменения рН и ОВП при химическом регулировании параметров воды; а – исходные значения параметров дистиллированной воды; b и с – параметры анолита и католита соответственно; d и e – параметры химических моделей католита и анолита соответственно; f и g – параметры анолита и католита после окончания релаксации соответственно (Из: Bakhir, 2018)

Показано, что электрохимическое неравновесное воздействие способно в десятки раз изменять реакционную способность (активность) ионов в растворах без изменения их концентрации. Значения же ОВП выходят за пределы возможностей химического моделирования при данной электропроводимости и поэтому являются уникальными.

Анализируя эти результаты, демонстрирующие длительно сохраняющуюся аномально высокую и аномально низкую активность электронов в воде, соприкоснувшейся с поверхностью катода или анода, можно предположить, что и в данном случае справедливым является принцип Ле-Шателье, в соответствии с которым в процессе электрохимического воздействия приэлектродная среда противодействует физико-химическим трансформациям, но когда они завершены, сохраняет достигнутое метастабильное состояние длительное время, противодействуя переходу в состояние термодинамического равновесия с окружающей средой [Погорелов, 2018].

На рисунке 4 изображен процесс получения в элементе МБ с керамической диафрагмой концентрированного (до 30 %) раствора хлорноватистой кислоты. При этом в элементе МБ керамическая ультрафильтрационная диафрагма превращается в анионоактивную при перемене направления градиента поля давления на обратное: от катода к аноду.

Керамическая неактивная диафрагма с размерами пор от 0,01 до 0,1 мкм превращается в анионоактивную мембрану под действием суперпозиции поля давления (от катода к аноду) и электрического поля. Процесс обеспечивает производство из раствора хлорида натрия раствора каустической соды, водорода и хлорноватистой кислоты с концентрацией до 30 %.

Необходимо заметить, что скорость массопереноса (электромиграция плюс фильтрация) в тысячи раз превышает скорость диффузионного перемещения ионов в полимерной мембране.

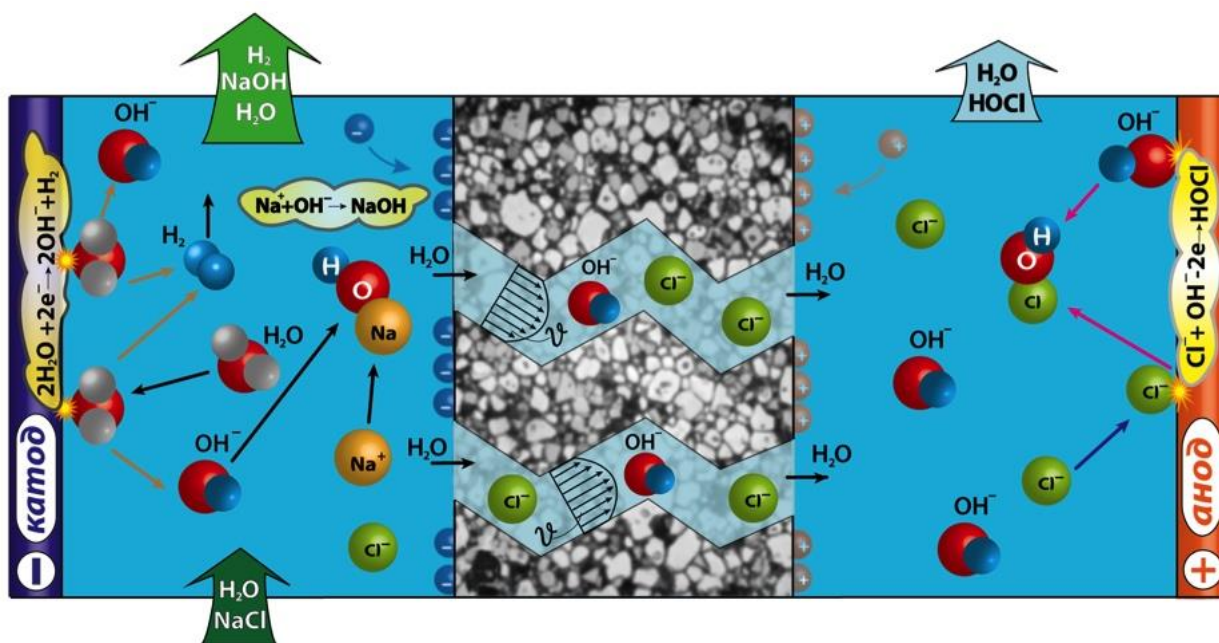


Рисунок 4 – Процесс получения в элементе МБ с керамической диафрагмой концентрированного раствора хлорноватистой кислоты (из: Vakhir, 2018)

Практическое использование этого процесса позволяет принципиальным образом разрешить проблему обеззараживания питьевой воды, сточных вод, заменой хлора и раствора гипохлорита натрия (реагирует с водой с образованием неактивного гипохлорит иона, содержит балластные вещества – соль и гидроксид натрия) на водный раствор только хлорноватистой кислоты. Ввод раствора хлорноватистой кислоты в линию подачи водопроводной воды в количестве, регламентируемом санитарно-гигиеническими нормативами по остаточному хлору, позволяет обеспечить отсутствие биопленок на внутренних поверхностях водоразводящих линий после обратноосмотических фильтров, что недостижимо при стандартной системе водообеспечения [Погорелов, 2018].

В электрохимических элементах МБ используются керамические диафрагмы, которые не боятся ни органических примесей, ни ионов многовалентных металлов в исходном растворе, ни перепадов давления, ни изменений химического состава и концентрации исходных растворов, ни многократного высыхания и увлажнения. Именно эти особенности отличают их от мембранных электролизеров и поэтому они называются электрохимическими реакторами. Что касается важнейшей характеристики мембран – ионселективной проводимости, то благодаря ионселективному электролизу с диафрагмой [Бахир, 2005], керамическая

ультрафильтрационная диафрагма приобретает свойства эффективной ионселективной перегородки при работе в электрическом поле в суперпозиции с полем фильтрации, задаваемым перепадом давления [Погорелов, 2018].

Микрофлора не способна выработать привыкание к ЭХАР по причине метастабильности его действующих веществ [Бахир, 2014; Cheng, 2012; Zhang, 2018]. Реакции и продукты окисления на аноде, сопровождающие процесс получения антимикробного ЭХАР (анолита) смеси оксидантов в электрохимическом реакторе, аналогичны реакциям, происходящим в живой клетке макроорганизма при фагоцитозе.

Смесь метастабильных АДВ анолитной фракции ЭХАР обеспечивает отсутствие адаптации микроорганизмов к микробоцидному действию раствора.

В процессе электрохимической обработки водных растворов на катоде реактора протекают также сопутствующие реакции с участием продуктов восстановления (католит), обладающие высокой биологической активностью из-за низкого ОВП.

*Антимикробные ЭХАР* получают электролизом раствора хлорида натрия, при котором у анода образуется фракция ЭХАР – анолит, содержащий газообразные кислород и хлор, ион гипохлорита, а у катода в процессе восстановления – католит, содержащий газообразный водород и гидроксид натрия [Бахир, 1999; Fabrizio, 2003].

*Применение ЭХАР.* Механизмы антимикробного действия ЭХАР окончательно не установлены; по мнению [Long, 2007], окисление клеточной мембраны анолитом нарушает метаболизм и вызывает гибель клеток.

Известно, что в пищевом производстве анолит эффективно дезинфицирует патогенные микроорганизмы на разделочных досках и уничтожает *Enterobacter aerogenes* и *S. aureus* на различных поверхностях оборудования [Park, 2002], не вызывая повреждения широко применяемой нержавеющей стали [Ayebah, 2005].

Показана эффективность анолита против *Listeria monocytogenes* [Мухина, 2005; Scallan, 2011] и способность ЭХАР повышать срок годности охлаждаемой в нем рыбы [Мелехин, 2000].

Использование анолита для обеззараживания свежих продуктов одобрено соответствующими органами в Японии, США, Корее [MFDS, 2012].

Стратегией научно-технологического развития РФ предусмотрен «переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания».

Технология ЭХА, будучи интенсивно развивающимся научно-техническим направлением, полностью отвечает указанной стратегии.

Основными преимуществами технологии ЭХА перед традиционными химическими технологиями являются экологическая чистота, экономичность и универсальность – сокращение типа и количества химических реагентов; уменьшение трудо- и времязатрат, материалов; возможность использования технических систем с одинаковым типом электрохимических реакторов для применения в различных областях.

В числе приоритетных направлений развития в Стратегии научно-технологического развития РФ указаны «фундаментальные исследования, обусловленные внутренней логикой развития науки, обеспечивающие готовность страны к большим вызовам, еще не проявившимся и не получившим широкого общественного признания, возможность своевременной оценки рисков, обусловленных научно-технологическим развитием».

Актуальность повышения экологичности и обеспечения безопасности подтверждается положениями Указов Президента РФ от 05.01.2016 г. № 7 и от 11.03.2019 г. № 97.

Технология электрохимической активации имеет продолжительную историю развития. Однако проведение современных фундаментальных и прикладных научных исследований, посвященных исследованию механизмов влияния метастабильных ЭХАР на различные пищевые и водоводные системы, позволит получить новые знания и даст возможность разработки новых подходов к обеспечению

нию качества, биологической безопасности и повышению эффективности производства потребительских товаров.

### 1.3.2 Электрохимическая активация в технологиях пищевых производств и ее влияние на организм человека

*Применение ЭХАР в технологиях пищевых производств.* К настоящему времени накоплен значительный опыт применения ЭХАР в технологиях пищевых производств. На этапах переработки сырья, производства полуфабрикатов и конечного продукта ЭХАР используют в целях безреагентного управления физико-химическими свойствами пищевых систем, улучшения их реологических свойств, ускорения и оптимизации технологических процессов, улучшения органолептических характеристик готовой продукции. Значимость ЭХА воды для производства пищевых продуктов обусловлена высоким содержанием в них влаги или наличием водной основы (напитки). Вода, применяемая в производстве пищевых продуктов, в исходном состоянии существенно различается по показателям концентрации примесей, микробной зараженности, минерализации и по кислотно-щелочным характеристикам. В связи с этим важным этапом является водоподготовка, обеспечивающая заданные характеристики воды, такие как показатель pH, солевой состав и общую минерализацию, жесткость.

Существенным показателем, определяющим структуру водной среды и ее энергетический статус, является ОВП [Чичко, 2005]. ОВП воды может быть изменен в широком диапазоне с использованием электрохимических методов. В иностранной и отечественной литературе обработанную таким образом воду называют по-разному: электрохимически активированной, электролизной, ионизированной, суперокисленной или супервосстановленной.



В процессе получения ЭХАР изменяется не только ОВП, но также рН, биологическая и химическая активность, при этом ионный (минеральный) состав остается без существенного изменения [Бахир, 1999; Chyer, 2000; Takenouchi, 2006]. В результате анодной электрохимической обработки увеличиваются ОВП и кислотность воды, содержание растворенного хлора и растворенного кислорода, электропроводность. Одновременно снижается концентрация водорода, поверхностное натяжение, изменяется структура воды.

ЭХА как способ изменения свойств воды с целью ее применения в различных областях пищевой промышленности представлена в многочисленных научных исследованиях и практических разработках. ЭХА вода и растворы считаются перспективными экстрагирующими и гидролизующими агентами, что подтверждено рядом изобретений. Например, в области переработки растительного сырья разработан метод экстрактивного получения под давлением 7,2-10,0 МПа красителя из кожуры лука в среде католита, нагретого до 69-79°C. Процесс растворения кварцетина начинается непосредственно с момента заливки сырья католитом для ускорения извлечения красящих веществ [патент № 2130472]. Способ извлечения виннокислых соединений из виноградной выжимки в непрерывном потоке водной среды, активированной в анодной камере проточного электрохимического реактора до рН 2,8-3,2 и ОВП 600-800 мВ, позволяет повысить выход виннокислых соединений, стабильность вина, сократить продолжительность процесса и снизить энергозатраты [патент № 2372399].

Корейскими учеными было проведено сравнительное исследование влияния электролизной воды и ультрачистой воды на экстракцию белка из абрикоса. Результаты показали, что при одинаковых значениях рН (рН 9,5) эффективность экстракции абрикосового белка электролизной водой была выше, чем экстракции ультрачистой водой. Абрикосовый белок, экстрагированный электролизной водой, проявлял повышенную более чем в 2 раза пенообразующую способность и лучше обеспечивал стабильность эмульсии. При экстракции посредством электролизной воды разрушение структуры абрикосового белка было минимизировано, а его функциональные свойства сохранены [Zhi-hao, 2018].

Технология электроактивации была использована для выделения белка из муки канолы (рапса). Щелочной раствор, который генерировался в катодном отсеке электролизера, обладал улучшенными экстрактивными свойствами по сравнению с химическими щелочными растворами. Экстракция с применением катода при одинаковом рН среды и продолжительности протекала более интенсивно, чем при использовании щелочи, однако при этом она была более щадящей по отношению к вторичной структуре выделенных белков [Gerzhova, 2015].

В исследовании Onwulata et al. изучали влияния рН при экструзии на текстурирование изолятов белка молочной сыворотки и физические свойства экструдатов. Изоляты сывороточного белка были экструдированы при 100 °С в потоках кислой электролизованной воды кислой с разными значениями рН и деионизированной воды. Показано, что щелочные условия увеличивали денатурацию экструдированного молочного белка, обеспечив получение вязких текстурированных ингредиентов, пригодных к применению в мясных продуктах [Onwulata, 2006].

Метод ЭХА воды создает благоприятные предпосылки для его использования в мясной промышленности, где ЭХА вода и растворы рассматриваются с точки зрения повышения эффективности процессов гидролиза, экстракции, эмульгирования, приготовления рассолов для обработки мясных изделий и ряда других процессов. В частности, ЭХА катодит обладает свойствами катализатора восстановительных физико-химических и биохимических процессов. Изменение агрегатного состояния катодно активированной воды при действии на мясной субстрат оказывает большое влияние на качество и безопасность конечной готовой продукции [Шаманаева, 2007; Дыдыкин, 2012].

В случае использования мясного сырья с повышенным содержанием соединительной ткани применение ЭХА катода целесообразно для энзимной биомодификации [Борисенко, 1999]. При рН катода 6,8-7,7, температуре 50-55°С, исходной концентрации хлорида натрия до 0,7 % значительно увеличивается протеолитическая активность ферментного препарата. В ряде экспериментальных работ подтверждено, что применение катода в составе рассолов не требует добавления химических компонентов и улучшает реологические свойства мяса. При

посоле мясного сырья в среде католита показатель рН мяса сдвигается в сторону щелочных значений, обуславливая увеличение влагосвязывающей способности мясного субстрата [Баль-Прилепко, 2006; Шаманаева, 2007; Дыдыкин, 2012].

Использование в качестве водной фазы щелочной фракции ЭХАР (рН 10-12) в сочетании с кавитационной дезинтеграцией жидкой среды обеспечивает получение стойких белково-жировых эмульсий, служащих основой производства эмульгированных фаршевых мясопродуктов. При диспергировании в ЭХАР повышается водопоглощающая и эмульгирующая способность белка [Зорин, 2009].

В исследовании группы Антиповой обработке подвергали плазму крови убойных животных – источник полноценного белка и ценный ингредиент фаршевых мясопродуктов. Плазма крови (рН 7,7) после активации разделилась на две фракции – кислая (анолит, рН 5,8-6,0) и щелочная (католит, рН 9,9-10,1). Добавление активированных фракций плазмы в колбасный фарш в условиях куттерования вызывало изменения физико-химических и структурно-механических характеристик фарша (предельное напряжение сдвига, пластическая вязкость, размеры жировых шариков, водосвязывающая способность, электростатический заряд и др.). Предложенная авторами физическая модель объясняет данные изменения образованием в фарше между молекулами белка и поверхностью жировых шариков коагуляционных контактов, приводящих к формированию адсорбционных слоев, которые являются структурномеханическим барьером для агрегации шариков и обеспечивают стабильность и гомогенность фарша. Активированные фракции плазмы крови оказывают различное влияние на эти структуры, а также на агрегационные процессы в миофибриллах мышечной ткани [Антипова, 2001].

Сходные процессы описаны в такой сложной пищевой системе, как тесто из пшеничной муки. Как показало исследование [Науменко, 2007], в хлебопечении использование катодной воды при замесе теста из пшеничной муки ускоряет его созревание посредством повышения бродильной активности дрожжей, способствует формированию однородной равномерной структуры теста; приводит к увеличению выхода сырой клейковины и количества осмотически связанной влаги. По предположению автора увеличение содержания более прочно связанной влаги

в опытном образце «может быть связано с повышенной способностью католита к проникновению за счет измельчения кластеров воды и снижения ее вязкости в процессе катодной обработки».

С помощью электронного микроскопирования образцов мякиша хлеба установлено, что при хранении изменения микроструктуры опытных образцов выражены менее интенсивно, в них образуются поры меньших размеров, чем в контрольном образце. Использование католита тормозит процесс черствения, препятствует развитию «картофельной» болезни.

Полученные закономерности сочетаются с выводами японских ученых, показавших, что использование электролизной воды улучшает качество замеса пшеничной муки и теста без использования других пищевых добавок [Patent US 6326048]. В работе [Onishi, 1999] были установлены отличия качества образцов хлеба, приготовленных с использованием водопроводной и электролизной (анодной или катодной) воды. В опытных образцах хлеба отмечали изменение таких показателей, как цвет, сенсорные характеристики, удельный объем, текстурометрические свойства, твердость крошек.

Методом сканирующей электронной микроскопии определили, что введение в тесто анодной воды улучшает растворение и дисперсию белков, способствует формированию хорошо развитой матрицы клейковины с тонкими мембранами и гранул крахмала с покрытием. В тесте, замешанном на катодной воде, клейковинный матрикс был прерывистый и хрупкий. Готовый хлеб на электролизной воде отличался от хлеба, изготовленного с использованием водопроводной воды. Хлеб, приготовленный с катодной водой, имел больший объем, мягкий мякиш и крошки, высокую степень желатинизации пшеничного крахмала за счет его гидратации и подавления потери воды во время выпекания. Хлеб с анодной водой отличался меньшим объемом, значительно повышенной упругостью и когезивностью мякиша и панировочных сухарей. Результаты сенсорной оценки показали, что использование в хлебопечении электролизной воды дает продукт более высокого качества, чем использование водопроводной воды [Onishi, 1999].

Способ приготовления теста из пшеничной муки без использования добавок запатентован Kato с соавт. [патент № US 6326048]. Способ включает этап замешивания пшеничной муки с катодной щелочной (pH 10,35) и/или анодной кислотой (pH 2,85) фракциями водопроводной воды, подвергнутой электролизу (контроль - образцы, приготовленные на водопроводной воде с pH 6,95). В присутствии кислотной воды с повышенным положительным ОВП экстрактивная функция белка в тесте усиливается, а реакция обмена групп SH-SS в молекулах глютенина и глиадина способствует образованию развитой сети клейковины. Мучные продукты из теста, замешенного на щелочной воде, превосходят контрольные образцы.

Поверхностно-активные свойства щелочной воды в присутствии гидроксил-ионов были выше, пшеничная мука более равномерно пропитывалась водой, способствовала частичному набуханию гранул крахмала и повышению степени влагоудерживания теста. Оценка показала преимущества хлеба из теста, замешенного на катодной или анодной воде, по таким показателям, как эластичность, пористость, мягкость, запах.

Kato с соавт. сообщали также об улучшении текстурных свойств не только хлеба, но также японского риса, лапши, приготовленных с использованием электролизной воды (pH 9-10) [Patent US 6 326 048]. Кобаяши и соавторы отмечали увеличение объема и улучшение текстуры продуктов, измеряемых соотношением адгезии и твердости, что свидетельствует о влиянии pH на структуру и функцию белка [Kobayashi, 1996].

ЭХАР эффективны не только при замешивании теста для выпечки пшеничного хлеба. При реактивации пекарских дрожжей в зависимости от величины и знака ОВП активируются или ингибируются биологические процессы в живых клетках, изменяются характеристики ферментированного пшеничного теста. В эксперименте воду активировали в проточной камере с керамической мембраной, при разных режимах работы получая анолит с ОВП до +905 мВ и католиты с ОВП (-110) - (-767) мВ. Минерализацию опытных растворов регулировали добавлением NaCl, доводя ее значение до 8000 мг/дм<sup>3</sup>. Предполагают, что причиной активации дрожжевых клеток стало повышение скорости ферментативных реакций в клет-

ках, зависящей от химического состава и условий среды, в том числе от значений показателей pH, ОВП [Набок, 2009].

В исследовании [Козлов, 2009] показано, что в процессе изготовления пива из концентрата с использованием ЭХА воды с ОВП (-50) - (-100) мВ прирост биомассы дрожжей был более интенсивным, отмечали улучшение их физиологического состояния, сокращение периода брожения на 12 ч.

В пивоварении применение технологии ЭХА целесообразно на стадии водоподготовки, в процессе активации ферментов солода, для экстракции хмеля [Храпенков, 2002-2004; Кругликов, 2011]. Запатентовано применение католита с pH 11,0-12,5 и анолита на стадиях варки сусле и проращивания солода [патент № 2203936]. В производстве солода по способу [патент № 2247143] анолит pH 6,2-7,8, ОВП 700-900 мВ использовали на первой стадии замачивания зерна, затем обрабатывали католитом с pH 11-13, ОВП (-150) ± (- 950) мВ, затем зерно повторно замачивали воздушно-оросительным методом. Использование кислых pH 2-5 и щелочных (pH 8-11) ЭХАР способствует минимизации потерь сырья после стадии промывки и ускорения процессов на стадиях замачивания и проращивания. Показано, что применение ЭХА воды способствует интенсификации получения сусле за счет более глубокого гидролиза белков и полисахаридов, а также повышению содержания свободных аминокислот сусле [Храпенков, 2003].

Использование щелочных ЭХАР эффективно для получения экстракта хмеля, содержащего горькие компоненты гумулон, адгумулон, когумулон и др. Внесение католита увеличивало содержание изогумулона на 11-12 %, позволяя сократить нормы задаваемого хмеля [Храпенков, 2004].

Отход производства пива – пивную дробину после стерилизации в течение 10 мин анолитом (pH 3,2-3,5, ОВП 1000-1100 мВ) (при соотношении анолит: масса дробины 2:1) стало возможным применять в кормовых целях. Ее срок хранения увеличился на 72 ч без дополнительных асептических мероприятий, амилолитическая активность в кормовом продукте выросла более чем в 2 раза за счет активации ферментной системы [Свиридов, 2006].

Примером использования ЭХА воды для изготовления алкогольных напитков служит технология производства 3-5 летних коньяков. Установлена взаимосвязь между изменением активной концентрации ионов кислорода, ОВП, рН, прозрачности и продолжительностью послекупажного отдыха в коньяках, в состав которых входит ЭХА вода. В результате интенсификации окислительно-восстановительных процессов в купажах коньяков на ЭХА воде срок послекупажного отдыха сокращается в 1,5-2 раза, возрастает его антиоксидантная активность. Технология обеспечивает снижение расхода сахара на приготовление сахарного сиропа благодаря использованию инверсии сахарозы с помощью ЭХА воды, что позволило повысить содержание сухих веществ на 5,2 %, и в итоге улучшить органолептические характеристики коньяка [Бушина, 2005].

В отечественной и иностранной литературе большое количество исследований посвящено использованию ЭХАР (восстановленной фракции) для питья. Приведены данные о положительном влиянии на организм человека катодно обработанной воды с отрицательным ОВП [Shirahata, 2012; Kashiwagi, 2014; Johansson, 2017; Frajese, 2018]. В работе [Плутахин, 2013] авторами был сделан вывод, во всех случаях действия ЭХАР на ферменты-антиоксиданты наблюдалась взаимосвязь значения ОВП, концентрации ЭХАР и продолжительностью инкубации эритроцитов. Существует предположение, что католит проявляет антиоксидантные свойства, его длительное потребление способствует компенсации накопления активных форм кислорода в организме, и поэтому катодно обработанная вода может рассматриваться как вода с физиологически функциональными свойствами, способствующая профилактике заболеваний желудочно-кишечного тракта, диабета, нейродегенеративных изменений, склероза.

По профилактическому действию восстановленную фракцию воды следует рассматривать в ряду продуктов функционального питания [Shirahata, 1999, 2012; Kashiwagi, 2014; Johansson, 2017]. В области исследования ЭХАР, их свойств и возможностей применения, а также в области изучения физиологических эффектов электролизной воды наиболее серьезные позиции занимают японские ученые. В Японии электролизованную воду используют в качестве дополнительного сред-

ства повышения качества и безопасности пищевых продуктов. В частности, больших успехов достигла научная группа университета Kyushu, Япония (Kyushu University, Department of Bioscience and Biotechnology, Faculty of Agriculture), под руководством Sanetaka Shirahata.

*Биологические эффекты и основные механизмы влияния электролизованной воды на человека.* Вода является основным компонентом живых организмов, составляет 75-95 % от общей массы различных типов клеток, формирует среду, в которой протекают функциональные процессы. Физиологические функции раствора воды в живом организме во многом определяются его химическим составом и физико-химическими показателями. Помимо содержания минеральных солей имеют значение рН, ОВП и растворенные газы.

В литературных источниках сообщается о повышенной физиологической активности ЭХА воды (электролизованной, электролизированной, ионизированной, суперокисленной или супервосстановленной), а также о перспективности ее использования в качестве функционального продукта, средства для терапевтической стратегии и укрепления здоровья, профилактики желудочно-кишечных заболеваний, лечения гипертонии и рака [Kim, 2000; Park, 2008; Kim, 2012].

Известен метод обработки воды в области, прилегающей к одному из электродов, и получении, соответственно, анолита (электролизованной окисляющей фракции – ЭОВ) или католита (электролизованной восстановленной фракции – ЭВВ). Обе метастабильные фракции обладают рядом аномальных свойств в период релаксации [Ignacio, 2012; Henry, 2013; Hamasaki, 2017].

Анодно обработанная ЭОВ обладает заметной биоцидной активностью, главным образом, благодаря высокому положительному значению ОВП (+500...+700 мВ), присутствию активного хлора и подкисленному значению рН [Бахир, 2014; Nishikawa, 2005; Park, 2008; Stopforth, 2008]. Получение водорода возможно и с помощью акустоплазменного разряда в жидкостях. В работе [Bulychev, 2018] показано, что низкотемпературная плазма, инициированная в жидких средах в межэлектродном разрядном промежутке, способна разлагать во-



дородсодержащие органические молекулы с получением газообразных продуктов с объемной долей водорода более 90 % по данным газовой хроматографии.

ЭВВ является функциональной питьевой водой с повышенным содержанием растворенного молекулярного водорода и отрицательными значениями ОВП (до -300 мВ), которая способна активно поглощать активные формы кислорода (АФК) благодаря действию растворенного водорода. Показатель рН ЭВВ не менее 8,4, в то время как большинство водопроводной или бутилированной воды имеет рН от 6,7 до 7,4 [Gómez-Espinosa, 2017].

В живом организме ЭВВ обладает гораздо большей проницаемостью и в ней выявлена более высокая степень растворения, чем в неэлектролизованной воде [Han, 2017]. ЭВВ вызывает интерес как поглотитель радикалов, способный нейтрализовать АФК, такие как супероксид аниона ( $O_2^-$ ) и пероксид водорода ( $H_2O_2$ ). Предполагается, что наличие в растворе водорода защищает клетки от гибели и старения, вызванного окислительным повреждением [Lee, 2006; Ohsawa, 2007; Han, 2017; Ridwan, 2019]. Рассматривали возможность использования молекул водорода в антиоксидантной терапии, показав [Nakayama, 2016], что восстановленная вода защищает ДНК лимфоцитов человека от окислительного повреждения, вызванного паракватом.

Влияние ЭВВ на повреждение ДНК лимфоцитов человека, вызванное  $H_2O_2$ , *in vitro* с помощью щелочного гель-электрофореза показано в [Lee, 2006]. Использование ЭВВ повышало устойчивость человеческих лимфоцитов к разрывам цепей ДНК, индуцированным  $H_2O_2$ . Те же авторы установили, что ЭВВ предотвращала окислительную деградацию общей РНК и белка в отсутствие акцепторов радикалов в аэробной реакционной системе. С использованием додецилсульфат-полиакриламидных гелей натрия было определено, что ЭВВ также полностью предотвращала окислительное расщепление пероксидазы хрена. В качестве косвенного доказательства антиоксидантной активности восстановленной воды авторы исследования рассматривают стимулирующее действие ЭВВ на поглощение радикалов аскорбиновой кислоты.

Антиоксидантную активность аскорбиновой кислоты, растворенной в ЭВВ, сравнивали с таковой в деионизированной воде с использованием метода анализа с удалением супероксида ксантин-ксантинооксидазы. Максимальное усиление антиоксидантной активности аскорбиновой кислоты (500 ppm), растворенной в ЭВВ, было примерно в три раза больше, чем у аскорбиновой кислоты, растворенной в неэлектролизованной деионизированной воде. Эффект в меньшей степени проявлялся при концентрации аскорбиновой кислоты 1000 ppm, что свидетельствует о недостаточной восстановительной способности ЭВВ для предотвращения окисления аскорбиновой кислоты в такой концентрации.

Установлена способность ЭВВ действовать в качестве антиоксиданта и противовоспалительного средства у крыс Wistar (*Rattus norvegicus*) с хроническим периодонтитом [Ridwan, 2019]. В частности, выявлена каталазоподобная активность ЭВВ, подавляющая одонитное разрушение бактериальной плазмидной ДНК, вызванное смесью аскорбиновой кислоты и меди. При хроническом периодонтите механизм действия ЭВВ обусловлен подавлением повреждения тканей, вызванного АФК. ЭХА восстановленная вода со значением pH 9,8 использовалась в терапии хронических заболеваний, уменьшая воспаление за счет восстановления АФК при передаче атомами водорода непарных электронов. Следовательно, количество свободных электронов, присутствующих в тканях, уменьшается. В результате ЭВВ может легко предоставлять атомы водорода в качестве активных компонентов, проникая в клетки и ткани [Choi, 2014].

Предполагается, что противовоспалительная функция ЭВВ обусловлена влиянием на иммунный ответ, предотвращая разрушение белков в лимфоцитах [Lee, 2006]. Показано увеличение количества макрофагов и лимфоцитов в тканях, обработанных ЭВВ [Arifah, 2015]. Воспаленная ткань обладает более кислым pH, чем нормальная ткань, благодаря процессу анаэробного метаболизма, который является ответом на хроническое воспаление, сопровождающееся повышением потребления энергии.

Известно, что восстановленная вода полезна для предотвращения индуцированного сахарного диабета 1 типа в клетках хомяков [Han, 2017]. Показано, что

печеночный гликоген может накапливать водород из питьевой воды [Harper, 2018]. Фармакокинетика водорода пока полностью не изучена, но это исследование не только выявило одну из причин, почему потребление даже небольшого количества водорода в течение короткого промежутка времени эффективно улучшает процесс различных заболеваний, но также и предположило, что концентрация водорода может стабилизироваться в крови. Обогащенная водородом электролизованная вода облегчает нейтрофильное воспаление и окислительный стресс в слизистой оболочке желудка [Tanaka, 2018].

Окислительный стресс в желудке является одним из основных последствий, вызванных лечением аспирином. Показано, что водород снимает окислительный стресс во многих тканях. Поэтому представляет интерес механизм ингибирующих воздействий электролизованной щелочной воды, обогащенной водородом. Показано, что ингибирование повреждения желудка косвенно индуцируется непрерывной обработкой электролизованной щелочной водой [Shin, 2018; Harris, 2017]. Водород в электролизованной щелочной воде предложен в качестве терапевтического антиоксиданта, восстанавливающего цитотоксические кислородные радикалы. Обнаружена прямая реакция между водородом, гидроксильным радикалом и пероксинитритом [Ohsawa, 2007].

Некоторые авторы считают маловероятным, что ингибирующие эффекты являются результатом восстановительной реакции молекулярного водорода, так как после поступления ЭВВ в организм водород может улетучиться в течение 10 мин, а его концентрация в печени и почках снижается до фонового уровня в течение 40 мин после этого [Yoshida, 1993]. Более предпочтительным представляется механизм, где водород, трансформируясь в пероксид водорода, действует как сигнальная молекула, изменяя экспрессию генов и синтез белков, например, цитокинов или каспаз. Дальнейшее изучение профиля регуляции генов необходимо для ответа на вопрос о механизме повреждения слизистой желудка. Потребление воды, обогащенной водородом, может защитить здорового человека от повреждений желудка, вызванных окислительным стрессом [Yoshida, 2004; Ohsawa, 2007; Viner, 2010; Ohno, 2012; Tanaka, 2018; Mahmud, 2019].

Известна значимость симбиотической связи здоровья человека с кишечной микробиотой. Одной из основных функций микрофлоры в просвете кишечника является ферментация пищевых волокон, включая резистентный крахмал, в результате которой синтезируются короткоцепочечные жирные кислоты (КЦЖК). КЦЖК оказывают важное физиологическое воздействие на слизистую оболочку толстой кишки, включая повышение секреции муцинов, стимуляцию сократительной подвижности, а также всасывание натрия и воды. Кроме того, КЦЖК могут регулировать системные физиологические и патофизиологические процессы, симпатическую нервную систему, контролировать использование энергии организмом и дифференцировку иммунных клеток [Audenaert, 2012; Jardon-Xicotencatl, 2015; Escobedo-González, 2016].

Отмечается, что большинство видов микроорганизмов желудочно-кишечного тракта кодируют способность метаболизировать молекулярный водород. Изучено влияние ЭВВ на кишечную среду у мышей, в частности, на микробный состав и содержание КЦЖК [Higashimura, 2018]. По сравнению с контрольной группой мыши, которым вводили ЭВВ, имели значительно более низкий уровень холестерина липопротеинов низкой плотности в сыворотке и активность аланинаминотрансферазы.

Концентрации органических кислот – пропионовой, изомаляной и изовалериановой были выше у мышей, которым вводили ЭВВ. При этом антиоксидантная активность щелочной электролизованной воды усиливалась при увеличении концентрации водорода даже при том же значении pH. Эти данные позволяют предположить, что введение ЭВВ влияет на состав микрофлоры кишечника и оказывает благоприятное воздействие на метаболизм холестерина и защиту печени.

Показано, что 70 % видов микроорганизмов, перечисленных в проекте «Микробиом человека», способны метаболизировать водород, что подтверждает его роль в физиологии кишечной микрофлоры [Ito, 2020]. Однако требуется дальнейшее изучение влияния ЭВВ на кишечный микробиом, чтобы понять механизмы полезного влияния электролизованной восстановленной воды на здоровье человека.

Повышенная антиоксидантная активность электролизованной восстановленной воды может объясняться наличием активного водорода в воде. Однако другие свойства и эффективность восстановленной воды еще предстоит выяснить. Дальнейшая интенсивная характеристика ЭВВ необходима для определения ее фактической восстановительной способности. Результаты опубликованных исследований показывают, что ежедневное употребление ЭВВ может улучшать здоровье и физическую работоспособность даже у здоровых людей, не имеющих желудочно-кишечных симптомов.

### 1.3.3 Формирование биопленки и оценка эффективности методов ее удаления

Микроорганизмы в составе биопленок представляют собой сообщество колоний, погруженных во внеклеточный полимерный матрикс, прикрепленный к поверхности. Образование биопленок происходит на поверхности различных изделий и материалов, при этом внутри биопленки резистентность штамма резко повышается, что существенно усложняет поддержание нормального санитарно-эпидемиологического фона на агропищевых предприятиях и представляет опасность контаминирования продовольственного сырья и продукции возбудителями пищевых токсикоинфекций.

Образуемая на границе водного раствора и твердой поверхности микробиологическая биопленка состоит из симбиотического сообщества бактерий, одноклеточных простейших, грибов и внеклеточного матрикса из полисахаридов, белков, гликолипидов и некоторых других органических соединений. Матрикс обеспечивает создание, структурное поддержание и питание биопленочных колоний.

Биопленки характеризуются собственным гомеостазом, повышенной резистентностью микроорганизмов к дезинфектантам и антибиотикам и сложностью ее удаления по сравнению с планктонными формами.

В настоящее время микробиологические биопленки исследуются, в основном, феноменологически, а изучение ее формирования и моделирование роста изложены только в разовых работах [Туркутюков, 2013; Drescher, 2012].

Отсутствие комплексных системных исследований формирования и дезинтеграции биопленок не позволяет получать и оценивать результаты их изучения в контролируемых условиях.

Впервые метастабильные антимикробные растворы были разработаны российскими учеными в начале девяностых годов прошлого века. В то время было показано, что электрохимическое анодное воздействие на раствор хлорида натрия в диафрагменном электрохимическом реакторе (электролизере) позволяет превратить его в раствор, биоцидные свойства которого на 2-3 порядка выше, чем раствора, полученного в тех же условиях в бездиафрагменном электролизере или аналогичного по концентрации соединений активного хлора раствора гипохлорита натрия.

Исследованию этого феномена посвящено множество научных работ во всем мире. В частности, в Германии и Бельгии подобные растворы используются в стоматологии для обеззараживания корневых каналов. В лечебных учреждениях широко применяются установки, которые производят ЭХАР для дезинфекции, предстерилизационной очистки и стерилизации медицинских инструментов, обработки помещений, мебели, предметов ухода за больными.

На сегодняшний день наибольший научный интерес представляют биоцидные ЭХАР, обладающие следующими характеристиками: концентрация оксидантов  $500 \text{ мг/дм}^3$  при общей минерализации до  $0,9 \text{ г/дм}^3$ ; гидропероксидные оксиданты составляют 6-10 % от общего содержания активных веществ.

Изучение влияния метастабильных ЭХАР на микробные биопленки обусловлено необходимостью разработки новых способов обеспечения микробиологической безопасности пищевой продукции, так как существующие методы характеризуются технологической сложностью, высокой стоимостью и повышенной экологической нагрузкой.

Фракция ЭХАР анолит за счет высокой окислительной способности эффективно повреждает такие компоненты биопленки, как бактерии, микобактерии, грибы, вирусы, споры микроорганизмов и не требует ее смыва, в отличие от используемых сейчас дезинфектантов. Католит за счет сниженного отрицательного ОВП разрушает белковые и жировые отложения, но не полностью уничтожает микрофлору.

Применение в АПК фракций ЭХАР является эффективным, экологически безопасным и экономичным методом дезинтеграции микробиологической биопленки. В агропромышленном производстве и пищевой индустрии большую опасность представляют микроорганизмы, приводящие к заражению технологических линий, порче продукции в процессе хранения и переработки, вызывающие заболевания растений, животных и человека.

Анализ существующих приемов и методов борьбы с микроорганизмами позволяет установить, что эффективными и безопасными для человека и животных являются только те способы борьбы с микрофлорой и токсическими продуктами биологического происхождения, в результате которых не образуются устойчивые вещества – ксенобиотики. К такого рода эффективным и безопасным воздействиям относятся либо электромагнитные излучения различных частот (ультрафиолетовое излучение, рентгеновские, гамма лучи, инфракрасное облучение), либо холодная плазма, пероксид водорода, пламя [Massey, 2013; Almasoud, 2015].

К подобным воздействиям не может выработаться резистентность в силу физико-химической метастабильности среды, образующейся в самих микроорганизмах в процессе воздействия или собственно метастабильной внешней среды, воздействующей на микроорганизмы и вызывающей дестабилизацию процессов жизнедеятельности. Перспективно использовать ЭХАР, которые относят к кате-

гории «зеленых» технологий, безопасных для окружающей среды. Однако введение в практику качественно новых подходов требует изучения их реальной эффективности.

#### 1.3.4 Предпосылки развития микробиологического заражения застойных зон магистралей водопроводных и иных систем

Системы транспортировки и распределения воды или других жидкостей на агропищевых, биотехнологических и других предприятиях включают много конструктивных соединений. Застойная жидкость является причиной серьезных проблем в производственных системах водоснабжения из-за большого количества планктонных организмов, обнаруженных в ней.

В указанных системах изоляция жидкости и отвод воды может достигаться установкой тройника с двухходовым выпускным клапаном [Austen, 2005]. Однако этот метод, создает застойную или «мертвую» зону «dead leg», которая особенно опасна, так как биопленка и свободно плавающие бактерии могут быстро расти и накапливаться в этой области, загрязняя всю водную систему.

Формальное определение «мертвой» зоны трубы дано FDA: «Трубопроводы для передачи очищенной воды для производства или окончательной промывки не должны иметь неиспользованную часть, длина которой больше, чем 6 диаметров неиспользованной части трубы, измеряемой от оси трубы, находящейся в эксплуатации» (рисунок 5). Для предотвращения образования биопленок на стенках следует использовать трубопроводы из поливинилхлорида (ПВХ) с минимальной внутренней шероховатостью (для стекла порядка 1 мкм, для большинства типов поверхностей - более 10 мкм).



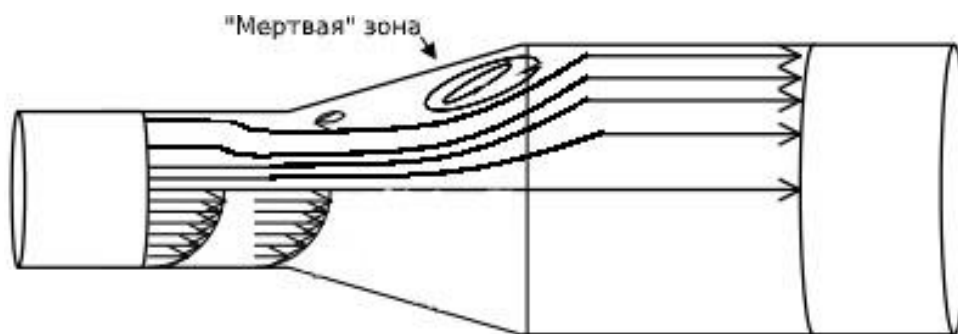


Рисунок 5 – Конфигурация «мертвой» зоны [Из: Austen, 2005]

Предполагается, что наиболее эффективным средством борьбы с биопленками является использование метастабильных ЭХАР. Технология получения ЭХАР может быть отнесена к категории «зеленых» [Бахир, 2014]. Обработка поверхности ЭХА водными растворами, которые обладают широким бактерицидным диапазоном действия представляет собой альтернативу традиционным методам очистки и дезинфекции.

### 1.3.5 Исследование и анализ лабораторных методов культивирования биопленок

Образование биопленки представляет собой многостадийный процесс, который начинается с микробной адгезии и образования внеклеточного матрикса, сформированного композицией белков, гликопротеинов, гликолипидов, внеклеточных нуклеиновых кислот и других молекул [Flemming, 2010, 2016]. Развитие методов обработки изображений, биохимических технологий и инструментов молекулярной биологии позволило получить представление о трехмерной структуре биопленки. Одновременно расширились знания о физиологии микроорганизмов, об их генотипической и фенотипической изменчивости в составе биопленки.

Методы направленного развития биопленки с целью их изучения в лабораторных условиях представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Устройства формирования биопленки

Устройство	Применение	Преимущества	Недостатки
Микротитрационный планшет	Анализ способности образования биопленки. Использование различных соединений против роста биопленки	Высокопроизводительный. Недорогой. Нет необходимости в передовом оборудовании	Краткосрочные эксперименты. «Человеческий фактор». Оценка возможна только при достаточно высокой плотности клеток
Устройство Калгари	Анализ способности образования биопленки. Определение минимальной ингибирующей концентрации для биопленки	Высокопроизводительный. Возможность изменения условий роста. Нет необходимости в передовом оборудовании	Каждое изменение среды требует, чтобы штифты проходили через жидкостно-воздушную межфазную границу. Трудность подсчета отдельных штифтов
Устройство Роббинса	Скрининг опорных поверхностей биопленки. Подходит для поточных экспериментов (систем водоснабжения)	Может работать долго без вмешательства. Субстратные пластины могут быть извлечены или обменены во время эксперимента	Высокая стоимость. Требуются насосы или системы потока. Нет возможности осмотра биопленок на месте
Реактор капельного потока	Формирование биопленки на пластинах при низком напряжении сдвига	Совместимость с пластинами различных размеров	Неоднородность развития биопленки на пластинах
Ротационный реактор	Оценка влияния материала и напряжения сдвига на развитие биопленки	В питательных и гидродинамических условиях можно сравнивать различные материалы. Напряжение сдвига и расход потока можно установить независимо	Анализ небольшого количества микробных штаммов. Размеры пластины фиксированы и определяются конструкцией реактора (держателем пластин)
Проточная камера	Изучение физиологии роста, реакции на стресс (напр., антибиотики). Возможно использовать для имитации условий естественного течения	Позволяет проводить прямой контроль и вести неразрушающее наблюдение за развитием биопленок. Оптимизирован для микроскопии <i>in situ</i>	Низкая пропускная способность. Не позволяет прямой доступ к ячейкам биопленки. Требуется перистальтические насосы и другое специальное оборудование
Микрофлюидное устройство	Имитация воздушно-жидкостных межфазных границ, включающих в себя индивидуальные измерительные приборы	Может быть изготовлен на заказ для определенных целей. Совместимость с анализом отдельных ячеек	Требуется специальное оборудование для производства и эксплуатации системы. Высокая стоимость
Трубчатый реактор	Количественная оценка влияния антибактериальных агентов на биопленки. Биохимические исследования	Возможность накопления большой массы биопленки	Трудность использования методов для высокопроизводительного анализа

Разработка эффективных методов удаления биопленки или улучшения ее полезных свойств (например, для биофильтрации, очистки сточных вод и т.д.) требует мультидисциплинарного подхода. С целью контролируемого формирования биопленки созданы устройства, имитирующие реальные условия окружающей среды [Neu, 2010, 2015].

Известно, что разные виды микроорганизмов отличаются механизмами адаптации к окружающей среде, что кардинально меняет их поведение в зависимости от условий [Martinuzzi, 2010]. Проточные камеры используют для наблюдения в реальном времени за биопленками при изменении ингредиентов среды, скорости потока или эффекта противомикробных препаратов. Такие устройства представляют собой перспективную платформу для математического моделирования, позволяя экспериментально получать числовые значения параметров модели.

Микроканальные камеры разработаны, чтобы изучать комбинированное воздействие нескольких факторов, влияющих на формирование биопленки [Drescher, 2013; Billings, 2014]. Микрофлюидная технология применена в ряде исследований, учитывая ее достоинства: малый объем жидкости, ограничение клеток и молекул в пространственной геометрии, регулирование температуры и точное поддержание градиента (рисунок 6).

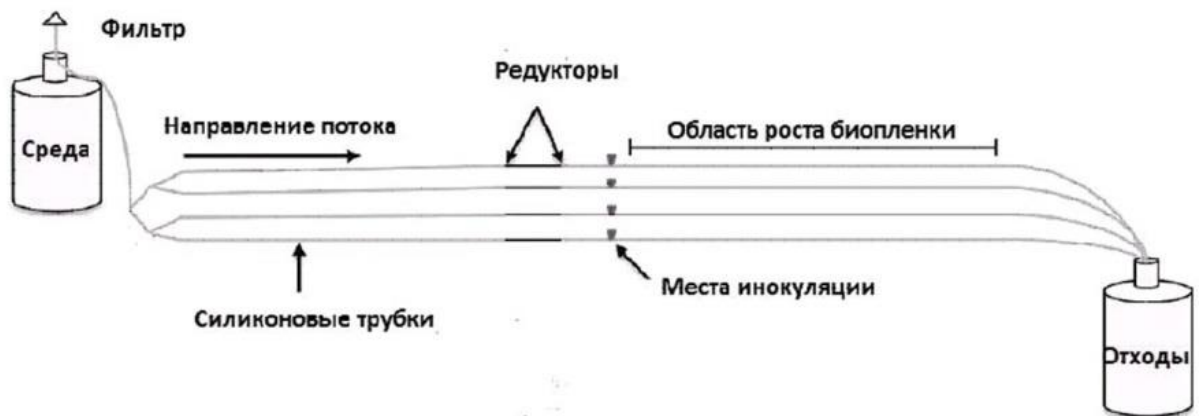


Рисунок 6 – Блок-схема микроканальной камеры комбинированного воздействия разных условий потока [Из: Marques, 2015]

Подобно проточным ячейкам реактор данного типа обеспечивает формирование биопленки на внутренней поверхности микроканала в потоке жидкости [Maierl, 2015; Marques, 2015]. Преимущество трубчатой системы заключается в

том, что она позволяет накапливать большую массу биопленки, которую можно легко собрать, соскабливая из трубки.

Система применима для количественной оценки влияния антибактериальных агентов на биопленки путем подсчета колониеобразующих единиц (КОЕ). Биохимические исследования и экспрессии генов также могут быть проведены на биомассе, собранной из труб. Трубочатые реакторы также используют для изучения фенотипической диверсификации, которая накапливается в течение роста биопленки.

Некоторые эффективные методики, модели и технологии исследования бактериальных биопленок подробно описаны в [Чеботарь, 2013; Соколова, 2014; Ceri, 1999; Kujundzic, 2007; Goeres, 2009; Coenye, 2010; Florjanič, 2011; Gomes, 2014; Tolker-Nielsen, 2014; Espeso, 2016; Zhao, 2017; Carrel, 2018].

Таким образом, с учетом положительных и отрицательных сторон различных систем экспериментального культивирования биопленок их можно условно разделить на три группы. Первые – модели статической биопленки, например, в планшетах или устройствах Калгари. Следующие включают в себя системы, в которых создается поток жидкости, смешанный с суспензией микроорганизмов. Примером могут служить классические проточные камеры, модифицированное устройство Роббинса и реакторы капельного потока. Исследуется адгезия и кинетика образования биопленки в зависимости от скорости потока.

Отметим, что в этих системах со временем условия меняются. Последняя группа включает реакторы (такие, как реактор биопленки CDC или вращающийся дисковый реактор), в которых поддерживаются постоянные условия, что достигается путем постоянного перемешивания свежей питательной среды.

На основании анализа существующих подходов необходимо отметить перспективность направления создания специальных экспериментальных стендов для изучения формирования и дезинтеграции биопленки микроорганизмов под действием ЭХАР.

#### 1.4 Сублимация и электростатическая обработка как технология пролонгации срока годности, обеспечения безопасности и качества продуктов питания

Обеспечение высокого качества продукции удлинённого срока годности согласно требованиям ГОСТ Р ИСО 9001 и ГОСТ Р ИСО 22000 в настоящее время является актуальной задачей пищевой индустрии. К особенно значимым и перспективным направлениям относится применение эффективных методов и средств, безвредных для человека и окружающей среды, в частности, современных физико-химических технологий.

*Сублимационная сушка* может проводиться в условиях вакуума или при атмосферном давлении. Вакуумная сушка обезвоживает пищевые продукты (конечная влажность 2,4-3,6 %), что обеспечивает максимальную сохранность продуктов при хранении, но характеризуется высокими стоимостью и расходами электроэнергии. Сублимационная сушка при атмосферном давлении лишена указанных недостатков, но полностью ее свойства в настоящее время не установлены. Принцип действия сублимации основывается на физических свойствах воды. Минув жидкую фазу, лед переходит в газообразное состояние [Власенко, 2012; Семенов, 2013; Шахов, 2014; Krokida, 1998].

Использование *электростатической обработки (ЭСО)* в пищевой промышленности сокращает продолжительность технологических процессов, обеспечивает сохранность качества продуктов и их микробиологическую стабильность. К недостаткам ЭСО относятся обезвоживание периферийных зон продукта, появление специфического запаха и необходимость подбора режима обработки для каждого продукта [Злобина, 2014; Кузнецов, 2015]. Опыт применения ЭСО широко описан в работах [Катусов, 2013; Стерхова, 2013; Кузнецов, 2014, 2015; Higashiyama, 2007].

## 1.5 Преимущества низкотемпературной плазмы (НТП), ее получение и применение

Увеличение спроса потребителей на здоровую пищу связывается, прежде всего, с пищей с пониженным содержанием консервантов и других химических веществ. Одновременно с этим наблюдается и рост производства продуктов питания, прошедших минимальную обработку. Однако производство такой продукции требует повышенного внимания для предупреждения микробиологической контаминации.

В настоящее время в производстве используются различные методы, основанные на изменении таких свойств продуктов как содержание воды, рН, различных способах нагрева или применение высокого давления. Эти методы способны обеспечить хорошее качество лишь в некоторых случаях, но они также могут быть недостаточно эффективны в других, они могут быть дорогими или медленными.

Кроме того, некоторые методы могут влиять на цвет, вкус, запах, текстуру и консистенцию, может снижаться содержание питательных веществ, а иногда и образовываться токсичные вещества.

Использование низкотемпературной плазмы позволяет избежать этих недостатков. Различные исследования позволяют сделать вывод о перспективности применения низкотемпературной плазмы (НТП) для борьбы с контаминированными поверхностями и жидкостями. Среди других новых методов борьбы с патогенными микроорганизмами НТП имеет некоторые преимущества: при достаточной эффективности минимально повреждается биоматериал (пищевой продукт), также исключается нагрев продукта, что позволяет не изменять основные свойства продукта [Ehlbeck, 2011].

### 1.5.1 Применение НТП для инактивации бактерий

Микробное обеззараживание представляет собой разрушение или удаление микроорганизмов, таких как вирусы, бактерии и грибы. Микробицидная обработка определяется как попытка уничтожения микробов; этот термин включает в себя стерилизацию, дезинфекцию, процедуры асептики и антисептики.

Способ воздействия может быть прямым, когда образец находится в прямом контакте с плазмой, или полупрямым, когда образец находится в недоступном для действия короткоживущих реактивных частиц. В последнем случае эффект наблюдается только за счет облучения, что может быть интересно для фундаментальных исследований.

В 1996 году вышла первая публикация, в которой низкотемпературная плазма использовалась как мощный стерилизационный инструмент [Laroussi, 1996]. В этом исследовании использовался аппарат, генерирующий тлеющий разряд при атмосферном давлении, который был разработан в университете Теннесси и применялся для микробиологической обработки.

Среда, контаминированная бактериями *Pseudomonas fluorescens*, была обработана разрядами плазмы в течение 10, 15 и 20 мин. В результате было обнаружено, что все образцы были полностью стерилизованы без повреждения самой среды. С момента этого исследования множество других были посвящены ответам на такие вопросы как: какой наиболее эффективный режим обработки плазмой? какая минимальная плотность электрического поля для достаточного микробицидного эффекта? какие физические процессы ответственны за стерилизацию? какие химические и биологические процессы вызывают гибель клеток? какой газ больше подходит для конкретных задач? Влияние гидродинамических условий на фенотип биопленок *Pseudomonas fluorescens* подробно описано в [Simões, 2007].

В исследовании подтверждения эффективности плазменной обработки в 2011 году было взято около 20 видов микроорганизмов (грамположительные и грамотрицательные, аэробные и анаэробные бактерии, вирусы и дрожжи)

[Ehlbeck, 2011]. В этой публикации проанализировано влияние различных разрядов на эффективность инактивации микроорганизмов. Кроме того, также представлены данные о времени обработки, типе газа, начальном количестве микроорганизмов и деталях каждого эксперимента. В зависимости от условий обработка низкотемпературной плазмой позволяет инактивировать (уничтожить) микроорганизмы и существенно сократить (до 5-7 порядков) число КОЕ в суспензии или на обрабатываемой поверхности в течение 10-1800 сек.

Другое исследование было посвящено чувствительности и устойчивости бактерий рода *Salmonella* на различных поверхностях и в различных суспензиях [Fernandez, 2012]. Это работа является важной для применения метода плазменной обработки в пищевой промышленности для поддержания биологической безопасности свежей продукции. Объектом были как различные микроорганизмы, так и различные генераторы плазмы, работающие при различных параметрах.

Однако, в результате использования большого количества переменных, итоги этой работы трудно сравнимы между собой. К примеру, в работе Шольца [Scholtz, 2010], где использовался только один источник плазмы и различные микроорганизмы, результаты более достоверны. В его работе исследовалась чувствительность девяти микроорганизмов, включая грамположительные и грамотрицательные бактерии, споры *Deinococcus radiodurans* и *Geobacillus stearothermophilus*, а также *Candida albicans*. Чувствительность вегетативных форм бактерий была примерно одинаковой у всех взятых видов, в то время как для инактивации спор *Candida* и *Geobacillus* требовалось более длительное время обработки.

В работе [Lee, 2006] проводилось сравнение чувствительности *E. coli* и *S. aureus* как вегетативных бактерий, спор *B. subtilis* и дрожжей *S. cerevisiae* к He/O<sub>2</sub> плазме на сухих поверхностях. В то время как инактивация вегетативных бактерий происходила в течение ~ 1 мин, а дрожжей – нескольких минут, инактивация бактериальных спор сокращалась только на один порядок за один час. В случае контаминации водной суспензии, известно о похожей чувствительности бактериальных спор [Scholtz, 2011].



В этом исследовании четыре вегетативные формы бактерий обладали примерно одинаковой чувствительностью к коронному разряду при обработке в течение 1 мин. Однако, чувствительность к плазменной обработке у дрожжей в несколько раз ниже и достигает того же уровня инактивации только после 6 мин. Чувствительность вегетативных форм планктонных бактерий отличается у разных видов. Эта разница менее выражена, чем между вегетативными бактериями и спорами, планктонными клетками и биопленками, бактериями и грибами. Однако детализированное сравнение устойчивости разных видов бактерий затруднено в связи с большим влиянием самого источника низкотемпературной плазмы на результаты каждого эксперимента.

Другие работы были посвящены исследованию механизмов инактивации, которые до сих пор остаются неясными и являлись целью последних исследований. Например, работа 2001 года [Moisan, 2001] показала, что кривая выживаемости спор *B. subtilis* после обработки  $N_2/O_2$  низкотемпературной плазмой проходит три стадии инактивации. Авторы делают предположение, что УФ-излучение является ответственным за первую фазу в связи с действием на изолированные споры, которые могут также находиться в верхнем слое спор.

Медленный процесс эрозии активными частицами представляет собой вторую фазу, которая является самой медленной. Наконец, во время третьей фазы, УФ-излучение достигает генетический материал все еще жизнеспособных спор. Изучение этих фаз явилось важным этапом для понимания кинетики инактивации бактерий при помощи НТП.

Однако последующие работы [Laroussi, 2005; Machala, 2010] показали, что роль УФ-излучения не является доминирующей в микробицидной обработке низкотемпературной плазмой. С другой стороны, проверяя отдельно эффект от плазменной обработки и УФ-излучения, а затем в комбинации, определено, что плазма и ультрафиолетовое излучение, действуя вместе, создают синергический эффект [Pavlovich, 2013].

### 1.5.2 Применение НТП для разрушения биопленок

Применение низкотемпературной плазмы для борьбы с биопленками было описано различными учеными. В 2001 году было проведено исследование применения НТП для разрушения биопленок, формируемых грамотрицательными *P. fluorescens*, *Salmonella typhimurium* и грамположительными *S. epidermidis* [Deng, 2007]. В результате было отмечено, что существует возможность применения плазменной обработки на различных материалах, используемых в пищевой промышленности, а также медицине.

Было проведено исследование [Abramzon, 2006], в котором сравнивалась эффективность низкотемпературной плазмы и ультрафиолетового излучения на планктонные клетки и биопленки живых микроорганизмов. Ученые обрабатывали четырехдневную биопленку *Chromobacterium violaceum* низкотемпературной плазмой в течение различного времени и обнаружили, что обработка НТП в течение 10 мин убивает практически 100 % клеток, что может являться потенциальным способом разрушения биопленок.

Дальнейшие исследования поддерживают идею о том, что процесс действия плазмы на бактериальные клетки происходит в 2 этапа [Vandervoort, 2008]. Сначала клетки теряют жизнеспособность и вступают в не культивируемую стадию. Только на второй стадии они в действительности уничтожаются.

Обширное исследование было проведено в 2011 году в лаборатории Ермолаевой [Ermolaeva, 2011]. В нем было изучено влияние низкотемпературной плазмы на биопленки грамположительных и грамотрицательных бактерий. Полученные результаты подтверждают восприимчивость обоих типов бактерий, растущих в биопленках, к аргонной плазме. Тем не менее, бактерицидный эффект уменьшается от поверхностного слоя к основанию, таким образом, он зависит от толщины биопленки.

Также было изучено разрушения биопленок *Candida* посредством НТП, используя He:O<sub>2</sub> (2 %) плазму самостоятельно или в сочетании с общими противо-

грибковыми препаратами [Sun, 2012]. Оба метода обработки были способны быстро инактивировать биопленки *Candida*. Внимание было уделено и безопасности использования НТП [Brelles-Marino, 2012]. В данном исследовании было изучено влияние НТП на здоровье человека и на свежие продукты питания в сравнение с традиционными способами стерилизации. Технология обработки низкотемпературной плазмой показала себя как чистая и безопасная как для человека, так и для пищевых продуктов.

Стоит отметить, что для уничтожения биопленок некоторых видов бактерий требуется значительно больше времени, чем для уничтожения планктонных клеток [Mai-Prochnow, 2014].

В 2013 году исследование было посвящено применению НТП для уничтожения биопленок *S. epidermidis* и *P. aeruginosa in vitro* [Matthes, 2013]. Обработка плазмой позволила получить тот же (или даже лучше) эффект, что и распространенные антисептики, такие как хлоргексидин диглюконат.

Позднее было протестировано действие низкотемпературной плазмы на инактивацию биопленок *Salmonella*, выращенных в течение нескольких дней [Niemira, 2014]. За 15 сек обработки биопленки наблюдалось снижение обсемененности на  $2 \log 10$  вне зависимости от возраста культуры.

На сегодняшний день стоимость обработки НТП остается достаточно высокой в сравнении с другими методами стерилизации. Однако низкотемпературная плазма представляет собой привлекательную альтернативу традиционным способам разрушения и уничтожения биопленок.

### 1.5.3 Использование НТП для обработки пищевых продуктов

Использование низкотемпературной плазмы особенно актуально для продукции, не подвергающейся дальнейшей обработке перед употреблением в пищу.

К таким относятся и готовые к употреблению продукты, которые не требуют приготовления. Несмотря на удобство этой продукции, она требует особых процедур для гарантии ее безопасности.

По определению, готовые к употреблению продукты питания являются коммерческими продуктами, которые простоты в потребления. Такие удобные продукты могут быть:

- горячими, готовыми к употреблению в пищу;
- комнатной температуры;
- охлажденные или замороженные, требующие минимального приготовления (как правило, только нагрева).

Такие продукты должны быть произведены с особым контролем, обязательно строгое соблюдение санитарных правил и пищевой безопасности.

Основную проблему безопасности в пищевой промышленности представляют микроорганизмы порчи и, в особенности, патогенные микроорганизмы. Существуют различные методы стерилизации для удаления нежелательной микрофлоры, которые в основном основаны на нагревании. К сожалению, иногда они вызывают нежелательные побочные эффекты, связанные с изменением питательной ценности продукта, его органолептических показателей. Низкотемпературная плазма может стать новым методом в обработке продуктов питания.

Существует огромное разнообразие продуктов, готовых к употреблению. К ним относятся не только различные мягкие сыры, но также и множество овощей, фруктов, рыбы, салатов, мяса, морепродукты.

Одно из первых исследований, посвященных применению низкотемпературной плазмы для обработки пищевых продуктов, а именно контаминированных яблок, дыни и латука, было опубликовано в 2007 году [Critzler, 2007]. Образцы продуктов были инокулированы смесью *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes* и *Salmonella* (7 log КОЕ на образец). После 30 сек и 1 мин обработки плазмой популяция *E. coli* O157:H7 сократилась на 1 log, а после 2 мин обработки – на 2 log. Популяция *Salmonella* сократилась на 2 log уже после 1 мин. Более длительная обработка приводила к еще большему снижению: 3 мин – 3 log, 5 мин – 5 log.

В 2008 году Перни и другие проверили бактерицидный НТП на околоплоднике дыни и манго [Perni, 2008]. В своем эксперименте они инокулировали образцы *S. cerevisiae*, *P. agglomerans*, *Gluconobacter liquefaciens* и *E. coli*. В результате было обнаружено, что *S. cerevisiae* наиболее устойчивы, *P. agglomerans* и *G. liquefaciens* были уничтожены до уровня ниже пределов обнаружения (3 log) спустя всего 2,5 сек обработки на обоих фруктах. В то же время для достижения того же результата у *E. coli* потребовалось 5 сек.

Интересным представляется исследование, в котором изучалась эффективность обработки низкотемпературной плазмой в зависимости от строения поверхности пищевого продукта [Song, 2009]. Ученые инокулировали смесь трех штаммов *Listeria monocytogenes* на нарезанный сыр и ветчину и обрабатывали НТП в течение 60, 90 и 120 сек. Снижение обсемененности оказалось в прямой зависимости от времени экспозиции. Результаты также подтвердили, что инактивация *L. monocytogenes* сильно зависит от типа и структуры исследуемого продукта. Объемные продукты и продукты неправильной формы накладывают определенные ограничения на применение НТП для целей стерилизации. Микробицидная активность плазмы обычно сосредотачивается на поверхности обрабатываемого продукта, так как способность реактивных частиц, генерируемых плазмой, проникать в глубокие слои продуктов ограничена.

В 2013 году было проведено исследование, в котором обработке низкотемпературной плазмой подвергались латук, морковь и томаты, контаминированные патогенным штаммом *E. coli* [Bermúdez-Aguirre, 2013]. После обработки оценивались не только микробиологические показатели, но и изменение цвета продукта. Установлено, что степень инактивации находится в зависимости от интенсивности инокуляции, то есть легче инактивировать небольшое число микроорганизмов. Цвет обработанных продуктов не подвергался изменению. Также обнаружено, что у микробных клеток была деформирована, разорвана или частично потеряна мембрана.

В другой работе ученые инокулировали поверхность яблок сорта Golden Delicious патогенными штаммами *E. coli* O157:H7 и *Salmonella*, а затем обраба-

тивали низкотемпературной плазмой [Niemira, 2008]. После 3 мин обработки снижение обсемененности достигало 3 log, что близко к пределам обнаружения.

Еще одно исследование было посвящено действию НТП на листья полевого салата (*Valerianella olitoria*), которые были инокулированы 50 мкл суспензии *E. coli* K12 [Baier, 2013]. В работе были использованы концентрации  $10^7$  КОЕ/см<sup>2</sup> и  $10^4$  КОЕ/см<sup>2</sup>. Эффект НТП был проверен с различными генераторами (от 10 до 40 Вт). При умеренной мощности в 20 Вт бактерии с более низкой концентрацией могут быть инактивированы в течение 15 сек, в то время как при увеличенной концентрации для достижения такого же эффекта требуется около 30 сек.

В пищевой промышленности возможно применение НТП для обработки не только продукции, но и оборудования. Так, исследовано применение низкотемпературной плазмы для деконтаминации мясорубки на производстве [Leipold, 2010]. Вращающийся нож был инокулирован *Listeria innocua* и обработан НТП. В результате обработки в течение 340 сек было достигнуто log 5 снижение числа *L. innocua*. Таким образом, возможно деконтаминировать детали машины в процессе работы, модернизировав текущие операции.

В недавнем обзоре различных применений низкотемпературной плазмы 2014 года был сделан вывод о высоком потенциале метода обработки НТП для сохранения пищевых продуктов в будущем [Afshari, 2014].

Таким образом, в настоящее время активно проводятся исследования в отношении применения НТП. Некоторая часть этих работ посвящена низкотемпературной плазме в пищевой промышленности для обработки продуктов, не подвергающихся специальной обработке перед употреблением. В рассмотренных исследованиях отмечается значительное снижение числа микроорганизмов после плазменной обработки, однако, эффективность метода зависит как от используемого вида бактерий, их состояния (планктонные клетки или биопленки), так и от самого сырья и состояния поверхности. Именно поэтому необходимо проводить дальнейшие исследования с целью установления бактерицидного эффекта НТП в отношении интересующих микроорганизмов и пищевых продуктов.

## 1.6 Научно-практические и правовые аспекты применения материалов и технологий с наносоставляющей

В настоящее время проводятся активные исследования по применению наноструктур в различные отрасли агропромышленного комплекса. В скором времени наночастицы помогут решить ряд проблем и в сфере общественного питания: улучшение санитарно-эпидемиологического состояния предприятий, обеспечение качества продукции, продление сроков годности потребительских товаров. Перспективы и проблемы применения нанотехнологий в пищевой промышленности в России отражены в работах Гмошинского И.В., Жердева А.В., Зайцевой Н.В., Попова К.И., Тутельяна В.А., Филиппова А.Н., Хотимченко С.А. и др. За рубежом настоящим вопросом занимаются Bouyer E., Chen Z.G., Fang W., Guzman M., Yamamoto K., Litvin V. и др. Значительная часть работ посвящена определению механизма воздействия наносистем на микробиоту и на исследования в области безопасности. Использованию НЧС при зернопереработке и для создания упаковочных материалов уделялось мало внимания.

### 1.6.1 Современное состояние и перспективы использования нанотехнологий в пищевой промышленности

*Нанотехнологии и наносистемы.* Нанотехнологии являются одним из ключевых направлений современной промышленности и науки [Рамбиди, 2008]. Развитие таких технологий привело к появлению отдельного сектора промышленности [FAO, 2010; Роров, 2010]. На мировом рынке в 2006 году

продавалось свыше 200 пищевых продуктов с индексом «нано», а к 2010 г. этот показатель увеличился до 800.

В РФ изучение наноразмерных систем и способов их применения является достаточно новым направлением, однако, существует положительная динамика в данной области науки и техники: число патентов с 2005 по 2011 гг. увеличилось в 10 раз, а государственные инвестиции в «наносектор» – более, чем в 22 раза [РОСНАНО, 2012]. В настоящее время проводятся интенсивные исследования антимикробных свойств наночастиц серебра, оксида цинка и меди.

*Свойства наноразмерных частиц.* Наносистема – совокупность структурных объектов с размерами от 1 до 100 нм как минимум по одному из измерений [Кобаяси, 2007; Зимон, 2012; Журавлева, 2015; ISO/TS 80004-6:2013; Roduner, 2006]. Взаимодействия наносистем с окружающей средой смещают химическое равновесие в процессах и повышают скорость обменных реакций. Размер НЧ влияет также на коллоидно-химические процессы [Ковшов, 2009; Вихров, 2010; Bulyshev, 2019]. Каталитическая активность повышается при снижении размера НЧ.

Анализируя литературные данные по наносеребру, следует выделить широкий спектр противомикробного действия, отсутствие у патогенных микроорганизмов резистентности, низкую токсичность, аллергенных свойств серебра. Как антимикробное средство серебро использовалось в форме ионов, а затем в виде коллоидных растворов НЧС, также обладающих бактерицидным и фунгицидным эффектом. Показано, что НЧС с размером менее 100 нм имеют более выраженное антибактериальное действие, чем традиционные препараты [Зимон, 2007; Мосин, 2008; Калица, 2009; Подкопаев, 2013]. НЧС по сравнению с металлической формой за счет повышенного содержания атомов серебра на поверхности были более активны против бактерии и вирусов.

Известно, что механизм антимикробного действия серебра заключается в том, что после сорбции на поверхности микробной клетки оно проникает внутрь клетки и подавляет ферменты дыхательной цепи и вызывает гибель клеток [Селезнева, 2005; Заиченко, 2011]. Одним из объяснений механизма действия серебра



на микроорганизмы является адсорбционная теория, согласно которой потеря жизнеспособности клетки обусловлена взаимодействием электростатических сил между отрицательно заряженной поверхностью бактерий и положительно заряженными адсорбированными ионами серебра. В таблице 3 представлены уравнения, описывающие основные типы взаимодействий между наночастицами (приведены данные из открытых источников информации).

Таблица 3 – Уравнения, описывающие основные типы взаимодействия между наночастицами

Тип взаимодействия	Уравнения, описывающие энергию взаимодействия
Ван-дер-Ваальса	$E = \frac{A_{121}a_1a_2}{6h(a_1 + a_2)(1 + \frac{14h}{\lambda})}$
Электростатическое	$E = 64\pi\epsilon_0\epsilon_r \frac{a_1a_2}{a_1 + a_2} \left(\frac{K_B T}{ze}\right)^2 \Gamma_1\Gamma_2 e^{-kh}$
Энтропийное	$F = 2\pi \left(\frac{a_1a_2}{a_1 + a_2}\right) \left(\frac{K_B T}{s^3}\right) \left\{ \frac{8l}{5} \left[\left(\frac{2l}{h}\right)^{5/4} - 1\right] + \frac{8l}{7} \left[\left(\frac{h}{2l}\right)^{7/4} - 1\right] \right\}$ $E = \int_{\infty}^h F(h)dh$
Магнитное	$E = \frac{8\pi\epsilon_0 M^2 a_p^3}{9 \left(\frac{h}{a_p} + 2\right)^3}$
<p><math>A_{121}</math> – константа Гамакера, <math>a_1 a_2 a_p</math> – радиусы частиц, <math>h</math> – расстояние между взаимодействующими поверхностями, <math>\lambda</math> – длина волны, <math>\epsilon_0 \epsilon_r</math> – диэлектрическая проницаемость в вакууме и в среде (среды), <math>K_B</math> – постоянная Больцмана, <math>T</math> – абсолютная температура, <math>z</math> – валентность противоиона, <math>e</math> – заряд электрона, <math>\Gamma</math> – поверхностный потенциал частицы, <math>k</math> – Дебаевская длина, <math>s</math> – расстояние между цепочками полимера, <math>l</math> – толщина пленки, <math>M</math> – намагниченность</p>	

Кроме того, в ряде работ показано, что серебро связывается с азотистыми основаниями ДНК, нарушает стабильность ДНК жизнеспособность микроорганизмов. Кроме того, при попадании серебра в клетку происходит поражение функций клеточной оболочки (бактериостатический эффект) и блокада бактери-

альных ферментов (бактериолитический эффект), что вызывает гибель микроорганизмов [Кульский, 1987; Баландин, 2013, 2014; Guzman, 2012].

Считают также, что серебро, реагируя с пептидогликанами клеточной мембраной микроорганизмов, обеспечивающими механическую прочность и стабильности мембраны, блокирует передачу кислорода внутрь клетки и вызывает гибель клеток [Тырнов, 2010; Podkoraev, 2014]. Так как клеточные мембраны млекопитающих не содержат пептидогликанов, то серебро на них не действует.

В России значительное внимание исследованиям по оценке медицинской и экологической безопасности нанотехнологий и наноматериалов уделяется с 2006 г. На основе математического моделирования разработаны методические рекомендации «Выявление наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека» (МР 1.2.2522-09). Рекомендованный алгоритм позволяет рассчитать величины интегральной опасности и в зависимости от степени опасности определить необходимый объем токсиколого-гигиенических исследований наноматериала. На основании проведенных исследований необходимо создать единую систему обеспечения нанобезопасности в масштабах РФ [Гмошинский, 2010].

### 1.6.2 Перспективы развития нанотехнологий в области обеспечения биологической безопасности

В прогнозе научно-технологического развития РФ на период до 2030 года указано, что заметных эффектов в сфере нанобиотехнологий можно ожидать уже в ближайшие пять лет. Изменение сложившегося облика экономики и общества во многом связывают с широким распространением новых материалов и нанотехнологий в производственных процессах и секторе услуг [Зимон, 2012].

Достоверно известно, что нанесение на поверхность фильтров наночастиц позволяет получить фильтрующие материалы с улучшенными, а иногда новыми свойствами, такими как бактерицидность, каталитическая активность, избирательная адсорбция и др. Также можно выделить несколько других направлений практического применения наночастиц:

- непосредственное использование растворов наночастиц;
- обеспечение длительного хранения;
- новые методы анализа;
- создание специализированных упаковочных материалов.

Наибольшему изучению в этих вопросах были подвержены наночастицы металлов, т.к. спектр их действия достаточно разнообразен [Зимон, 2012; Бодрышев, 2018]. В настоящее время на основе коллоидного серебра выпускаются препараты – биологически активные добавки с антибактериальным, противовирусным и противогрибковым действием. Препараты коллоидного серебра наиболее распространены и широко используются в индустрии наночастиц.

Слоем наночастиц серебра покрывают столовые приборы, дверные ручки, клавиатуру. Наночастицы серебра используют при создании новых покрытий и косметики, для обеззараживания воды, для покрытия стекла слоем ионов серебра, что предотвращает рост патогенных бактерий, в том числе кишечной палочки, сальмонеллы и др.

Широкому изучению подвержены упаковочные материалы для продукции пищевой промышленности, которые можно дополнить НЧС или оснастить наносенсором, определяющим, годна пища для употребления или нет, подавая сигнал потребителю изменяя цвет. Также они могут увеличивать срок хранения продукта. Исследователь Andrew Mills отмечает, что применение новой технологии в упаковке продуктов питания позволит предотвратить появления большого количества отходов продуктов питания [Nanonewsnet, 2008; ChemPort, 2011].

Компания «Северус» информировала российских ритейлеров о новой разработке лаборатории ЕРТА – новом покрытии для традиционных гастрономических витрин, на основе ионов серебра, которое улучшает качество и полезные свойства

продуктов, устраняет более чем 650 видов бактерий, среди которых наиболее опасные *E. coli*, *Staphylococcus* и *Legionella*. Качество покрытия протестировано согласно японским стандартам JIS Z 2801-2000. Данная технология впервые была применена в медицине для создания «чистых зон» – помещений операционных – и оказалась также эффективна для предотвращения быстрой порчи продуктов [Чередниченко, 2012].

### 1.6.3 Научно-практические аспекты применения наносистем в пищевых производствах

Производство пищевых продуктов имеет дело с природными наноразмерными органическими веществами и сопровождается процессами, изменяющими размер НЧ, что схематически представлено на рисунке 7.

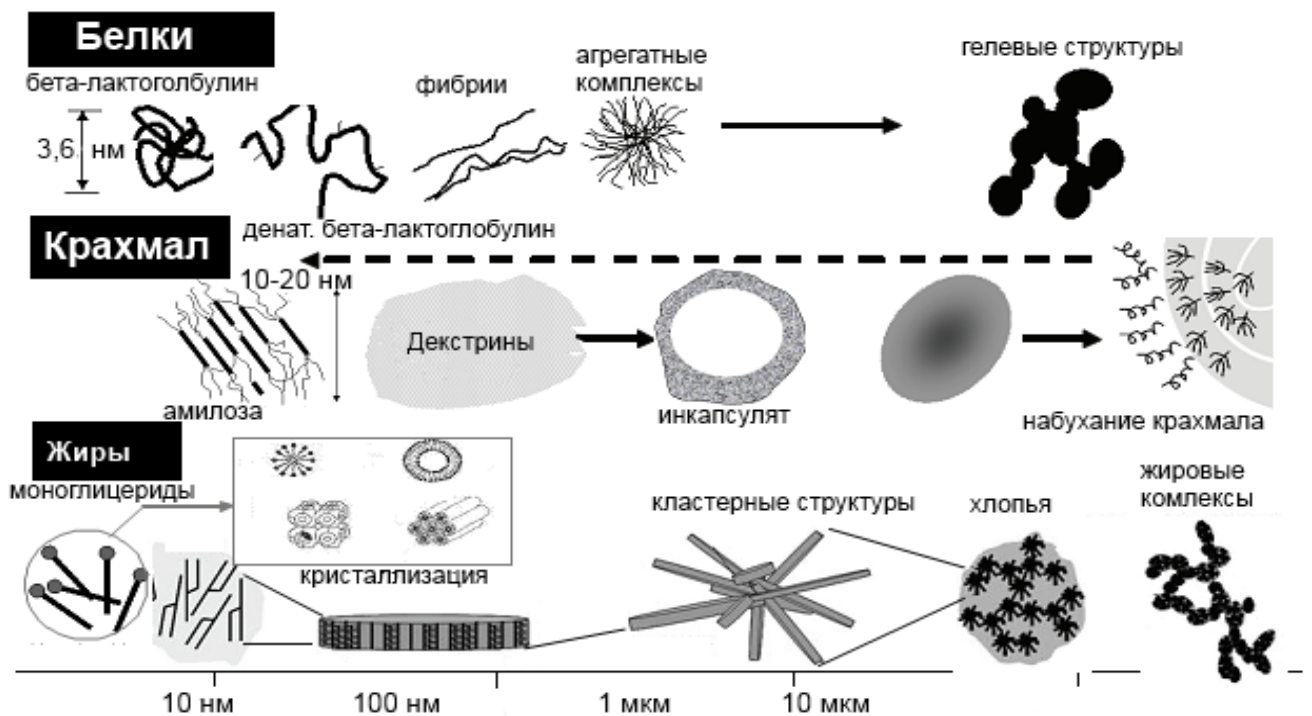


Рисунок 7 – Схема структурных изменений белков, жиров и крахмала, происходящих в процессах пищевых производств [Из: Pray, 2009]

В пищевой промышленности широко применяются различные наносистемы [Nanowerk, 2015]. Высокий удельный вес в этой области имеют НЧ различных металлов. Так, введение кальция в продукты в виде НЧ повышает его усвояемость [Роров, 2010], а включение коллоидного раствора кальция в состав жевательной резинки благотворно действует на состояние зубов [патент № US 2009/0238947]. Наличие фосфата железа в пищевых добавках обеспечивает организм биодоступным железом.

В различных целях применяют также НЧ палладия и рутения [Zhu, 2009], алюминия [Saiyed, 2005], диоксид титана [Lomer, 2004]. НЧ меди и серебра могут обеспечивать микробиологический контроль [Bondarenko, 2013]. НЧ оксида меди ингибируют развитие бактерий [Kim, 2007; Mary, 2009]. НЧ меди применяются в упаковочных материалах [Grass, 2011], обладают фунгицидным действием на мицелиальные грибы и дрожжи [Fahmy, 2009; Wei, 2010], увеличивают срок годности [Cárdenas, 2009] и способны дезинфицировать воду [Stanić, 2010]. Наиболее выраженными бактерицидными и фунгицидными свойствами обладают НЧС [Kahru, 2012].

*Получение коллоидных растворов НЧС и их характеристика.* НЧ серебра можно получать различными способами: физическими - лазерная абляция [Phuoc, 2007; Tsuji, 2009; Bulychov, 2019], конденсация инертного газа [Simchi, 2007], химическим восстановлением [Wang, 2004], цитратным методом Туркевича, боргидратным способом, синтезом в обратных мицеллах и биологическими [Sastry, 2003; Tolaumat, 2010; Li, 2015]. Большое значение в получении растворов НЧС имеет их стабилизация [Lara, 2010; Reicha, 2012; Bouyer, 2013] и влияние кислотности среды на агрегацию НЧ [Panteloglou, 2010].

При внедрении НЧС в форме коллоидных растворов в индустрию питания нужно учитывать многочисленные технологические параметры и, в основном, размер НЧС. Показано, что НЧС с диаметром 9-11 нм обладают существенно большей антимикробной активностью, чем НЧС с диаметром 20-60 нм и антимикробная активность снижалась при их агрегации [Lok, 2007; Zhang, 2011; Yogesha, 2012; Li, 2015].

*Антимикробные свойства коллоидных растворов НЧС.* Полученные различными способами растворы НЧС оказывают бактерицидное действие при минимальной концентрации НЧ в среде 0,0001-0,3 г/дм<sup>3</sup> [Petica, 2008; Mikhienkova, 2011]. Так, НЧС, стабилизированные оксидом железа, обладали эффективным антибактериальным действием на *E. coli*, *S. epidermis* и *B. subtilis* [Gong, 2007]. По мнению исследователей наносеребро более эффективно подавляет рост грамотрицательных бактерий [Gong, 2007; Jung, 2008]. Однако по данным [Birla, 2009; Guzman, 2012; Litvin, 2013] коллоидные растворы НЧС в равной степени были эффективны как против грамотрицательных, так и грамположительных бактерий. Кроме того, бактерии не развивают резистентность к наносеребру, что делает актуальным применение НЧС в качестве бактерицидных средств.

В настоящее время механизм антибактериального действия НЧС полностью не выяснен. Возможным объяснением их антимикробной эффективности является влияние на дыхательную систему клеток [Holt, 2005], замедление обмена веществ [Schreurs, 1982], мутационное нарушение ДНК [Yang, 2009]. Безотносительно к действию самого серебра НЧС могут подавлять жизнедеятельность бактерий за счет индуцируемых свободных радикалов [Kim, 2007; Yoon, 2008], нарушение барьерных и транспортных функций клеточной мембраны [Morones, 2005] или их структуры [Sondi, 2004; Hwang, 2008]. Показано, что НЧС ингибируют развитие грибных микроорганизмов [Esteban-Tejeda, 2009] и эффективно угнетают фитопатогенные мицелиальные грибы [Jo, 2009; Panasek, 2009].

В работе [Gajbhiye, 2009] определено, что коллоидные растворы НЧС подавляют размножение дрожжей рода *Candida*. Однако низкие концентрации наносеребра обладали антибактериальным эффектом и не ингибировали аскомицетовые грибы [Kathiresan, 2010; MubarakAli, 2011], что может быть связано с меньшим мутационным влиянием наносеребра на ДНК более защищенного ядерного аппарата эукариотов к которым относятся мицелиальные грибы и дрожжи [Jaidev, 2010; Panasek, 2011] и/или составом их клеточных мембран, обеспечивающим меньшую проницаемость для НЧС [Джей, 2011; Ivask, 2014].

*НЧС и безопасность пищевой технологии.* Максимальной биоцидной активностью обладают наносистемы с наивысшей дисперсностью. Коллоидные растворы НЧС (0,01-1 мг/кг) вводили через зонд в желудок крыс в течение 30 суток [Гмошинский, 2010]. Выявлено, что доза НЧС, равная 0,1 мг/кг, являлась безвредной. Увеличение дозировки до 1 мг/кг изменяло некоторые биохимические показатели незначительно. Учитывая более интенсивный метаболизм у крыс, у человека дозировку было предложено снизить до 0,001 мг/кг и рекомендуемое максимальное потребление НЧС составляло 0,07 мг в день.

Эффективная антибактериальная фунгицидная активность и отсутствие резистентности микроорганизмов к НЧС предполагает их широкое применение в медицине, в быту и в АПК [Гмошинский, 2010; Попов, 2010; Локацкая, 2011]. Дальнейшая оценка безопасности наночастиц и наноматериалов продолжается.

Показано также, что растворы серебра с концентрациями 50, 200 и 1250 мкг/дм<sup>3</sup> являлись физиологически безопасными. У крыс прием с пищей 5-6 мг/день в течение года нитрат серебра не вызывал функциональных осложнений; всасываемость препаратов серебра из желудочно-кишечного тракта была низкой [Кульский, 1987].

Длительное употребление человеком питьевой воды, содержащей 50 мкг/дм<sup>3</sup> серебра, не влияло на функции органов пищеварения и активность в крови ферментов - маркеров функции печени. Прием человеком в течение 15 сут воды с концентрацией серебра 100 мкг/дм<sup>3</sup> (в 2 раза выше нормы) не вызывал патологических изменений других органов и систем. Установлено, что серебро повышает окислительное фосфорилирование и содержание нуклеиновых кислот в головном мозге. В отличие от ионов серебра коллоидные растворы НЧС аргироз не вызвали [Масленка, 1976; Радзевич, 2004].

НЧС (25 нм) изменяли также экспрессию генов, связанных с окислительным стрессом и антиоксидантами в центральной нервной системе мышей. Серебро индуцировало дефицит пероксидазных ферментов, способствуя активации тромбоцитов. В кровеносной системе НЧС вызывали дисфункцию гематоэнцефалитического барьера и дегенерацию нейронов [Sharma, 2009]. У мышей повышенные до-

зирования наносеребра модулируют гены, связанные с расстройством двигательных нейронных связей, свидетельствуя о потенциальной нейротоксичности. При вдыхании НЧС могут вызывать альвеолярное воспаление и утолщение альвеол [Sung, 2009]. Полагают, что серебро поступает в кровь и аккумулируется в печени и почках [Ji, 2007]. У крыс таких эффектов НЧС не выявлено.

Ученый Roger Altman [Altman, 1999] потреблял коллоидное серебро по 2,3 мг в день на протяжении более пяти месяцев; серебро в наибольшей концентрации обнаружено в моче. НЧС в коже и волосах не обнаружено.

ВОЗ [WHO, 2003] считает концентрацию серебра в питьевой воде 0,0001 г/дм<sup>3</sup> объективно безопасной для человека и, хотя НЧС обладают отрицательным влиянием на клетки млекопитающих *in vitro*, негативного действия наносеребра *in vivo* при приеме этого установленного количества серебра в питьевой воде не выявлено [Fewtrell, 2014]. В США максимальное регламентируемое суточное количество наноконпонентов в продуктах питания составляет 150 мкг [FDA, 2007], а коллоидные растворы НЧС как биологически активные добавки разрешены к продаже и употреблению [FDA, 2013, 2014].

Международная Организация Виноделия регламентирует допустимую безопасную концентрацию коллоидного серебра в напитках, равную 0,00005 г/дм<sup>3</sup> [OIV, 2011]. Концентрация серебра в питьевой воде определяется СанПиН 2.1.4.1074-01 и ее максимальное значение составляет 0,00005 г/дм<sup>3</sup>, что соответствует регламенту OIV. ВОЗ допускает в два раза большее содержание серебра.

*Использование НЧС для обеспечения биологической безопасности продуктов питания.* В последнее десятилетие значительно расширилась область применения НЧС в медицине, фармацевтике, химической, перерабатывающей и пищевой промышленности [Колончин, 2010; Попов, 2010; Азоев, 2012; Зимон, 2012; Подкопаев, 2013]. Антибактериальное действие НЧС описано в [Shrivastava, 2007; Lara, 2010; Zhang, 2011; Yogesha, 2012]. От размера частиц во многом зависит степень бактерицидного воздействия НЧС [Sintubin, 2011].

В настоящее время возникла необходимость подробного изучения действия НЧ на микроорганизмы пищевых продуктов. В пищевой индустрии для примене-



ния коллоидных растворов НЧС необходимо определение рабочих концентрации наночастиц, соответствующих нормам безопасности, а также учитывать возможность их попадания в продукты питания. Исследования механизмов действия и применения наночастиц позволит повысить биологическую безопасность продуктов питания и усовершенствовать существующие технологии и методы ее контроля.

#### 1.6.4 Способы обеспечения качества и безопасности пищевой продукции в процессе хранения

В настоящее время для увеличения сроков хранения пищевых продуктов используются различные приемы и технологии. Так, существует несколько способов борьбы с нежелательной микрофлорой, развивающейся на поверхности колбас: обработка их поверхности химическими консервирующими веществами, замачивание колбасных оболочек в растворах этих веществ, использование в процессе хранения упаковки в модифицированной газовой среде (МГС) или регулируемой газовой среде (РГС), вакуумная упаковка [Легонькова, 2010].

Одним из недостатков использования консервирующих веществ является регулирование концентрации этих веществ при контакте с продуктом, а также при обработке колбасных оболочек, не редко ухудшаются прочностные характеристики, что приводит к разрыву материала при его заполнении. Использование упаковки в МГС, вакуумной упаковки нашли широкое применение в технологии хранения колбасных изделий. Материалы, используемые при изготовлении такого рода упаковки, часто являются плохо разлагаемыми в окружающей среде при их утилизации, что негативно сказывается на экологической обстановке.

Развивающимся направлением по обеспечению качества и безопасности продуктов в процессе хранения является использование покрытий на основе син-

тетических сополимеров и природных полимеров (полисахариды, коллаген и т.д.). Выбор покрытия зависит от свойств упаковываемого продукта, условий хранения и транспортировки. Придание материалам определенного комплекса свойств достигается введением модифицирующей добавки в полимерную матрицу.

Литературные данные показывают стремительное развитие использования НЧ в упаковочной отрасли [Федотова, 2013; Huang Yanmin, 2011]. Можно выделить два основных способа модификации полимерных материалов: это напыление НЧС на поверхность готового материала и введение частиц в полимерную матрицу. В качестве полимерного материала используют полиэтилен, полипропилен, полиамид, а также их сополимеры [Emamifar Aryou, 2010]. Получаемые материалы с использованием НЧС необходимы в целях пролонгации срока годности упакованных продуктов.

Любой модификатор, вводимый в полимерный материал, контактирующий с пищевыми продуктами, должен регламентироваться [Федотова, 2013]. Упаковочные материалы, вступающие в контакт с пищевыми продуктами, должны соответствовать санитарно-гигиеническим нормам. При санитарно-химических исследованиях материалов, полученных с использованием нанотехнологий, следует контролировать миграцию из полимера, как веществ традиционной дисперсности (остаточных мономеров, пластификаторов, стабилизаторов и т.д.), так и в наноразмерности.

Контроль миграции веществ из полимерного материала поводится в соответствии с нормативно-методической документацией [МУ 1.2.2520-09; МР 1.2.2640-10] по оценке безопасности наноматериалов и материалов, полученных с использованием НЧ, предназначенных для упаковки пищевых продуктов.

Таким образом, разрабатываемые модифицированные покрытия могут служить альтернативой при выборе способа защиты поверхности потребительских товаров от поражения нежелательной микрофлорой и основой обеспечения качества и безопасности продукции различных сроков хранения.

### 1.6.5 Безопасность технологических процессов и продуктов различных сроков хранения при использовании нано- и криотехнологий

В зависимости от вида продукта, существуют различные методы их обеззараживания. Например, использование консервантов, которые идут или в качестве добавки непосредственно в продукт, или как вещества для поверхностной обработки. Используются также физические методы электротехнологии озонирования, СВЧ-, ИК-, УФ-обработка, электрическое, магнитное поле, их комбинация, ультразвук, лазерные технологии и др.) [Котов, 2004; Будаговский, 2008; Хмелев, 2010; Нестерова, 2018]. Чтобы сократить численность микробов, а также ограничить их патогенную активность и размножение, применяются различные методы, такие как консервирование с применением высоких и низких температур, посол и др. [Харина, 2015; Роскачество, 2020; Hansen, 2003; Son, 2016].

На этапах хранения и реализации используют полимерные упаковочные материалы и покрытия, которые способны обеспечивать барьер от негативного воздействия микроорганизмов и окружающей среды. Все эти методы имеют как достоинства, так и недостатки. При использовании химических веществ может происходить адаптация микроорганизмов к ним. Результат – увеличение концентрации препаратов или поиск альтернатив. Применение физических методов, как правило, увеличивает стоимость продукта – из-за дорогостоящего оборудования. Полимерные материалы и покрытия заметно увеличивают срок хранения продуктов, но могут негативно влиять на экологическую обстановку.

Сегодня возникла необходимость подробного изучения альтернативного действия наночастиц металлов на микроорганизмы в пищевых продуктах. Эта комплексная научная задача имеет перспективу для исследования возможности регулирования жизнедеятельности микроорганизмов с помощью наносистем. Пищевые продукты, испорченные микрофлорой, могут привести при их потреблении к нарушению жизнедеятельности человека. Даже при соблюдении всех са-

нитарно-гигиенических норм и правил производства не всегда возможно обеспечить их сохранность в процессе хранения и реализации.

В продукции общественного питания присутствуют бактериальные микроорганизмы. При хранении популяция микроорганизмов увеличивается, возникают проблемы порчи продукции. Важно отметить, что при заражении потенциально опасными видами бактерий сырья, полуфабрикатов, промежуточных и/или готовых изделий в технологических процессах пищевого производства их необходимо утилизировать, что приносит значительный экономический ущерб предприятию.

Микробиологическая контаминация предотвращается наночастицами металлов, обладающими ярко выраженными антибактериальными свойствами. Однако, применение любых веществ, в контакте с пищевыми продуктами, должно нормироваться и быть безопасным для человека и окружающей среды.

В сочетании с использованием криотехнологии может рассматриваться возможность обеспечения качества и безопасности продуктов при их длительном хранении. Ранее для большинства замороженных пищевых продуктов требовалась кулинарная обработка, обеспечивавшая определенную степень биологической безопасности. В последнее время стал доступен значительно более широкий ассортимент продуктов, многие из которых специально разрабатывались для замораживания и последующей дистрибуции в замороженном состоянии. Такими замороженными пищевыми продуктами являются предварительно термообработанные пищевые ингредиенты и готовые блюда, которые перед употреблением требуется просто подогреть. Кроме того, многие замороженные кондитерские изделия предназначены для потребления после размораживания или непосредственно в замороженном состоянии без какой-либо тепловой обработки. Исключение этапа тепловой обработки потребителем делает биологическую безопасность обязательным предварительным условием замораживания и определяет технологии замораживания [Лабутина, 2004; Эванс, 2010; Богатырева, 2013].

Важным этапом замораживания является понижение температуры пищевых продуктов в целях предотвращения и минимизации микробиологических и химических изменений. Технологии консервирования пищевых продуктов обычно

нацелены на предотвращение роста патогенных микроорганизмов. Так как замораживание ингибирует активность микроорганизмов, с его помощью можно контролировать развитие микробиологической порчи в течение неограниченных периодов времени (при условии поддержания достаточно низких температур, например, ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ ). Тем не менее, многие микроорганизмы подобно другим биологическим системам способны выживать в условиях замораживания и сохранять способность к размножению при возврате к более благоприятным условиям.

Более высокоорганизованные организмы, например, протозойные паразиты, очень чувствительны к таким температурам и погибают при замораживании. Грамотрицательные бактерии, более стойкие к низким температурам, чем протозойные организмы, вместе с тем более чувствительны, чем грамположительные бактерии. Вирусы после замораживания сохраняют свою способность инфицировать клетки хозяина, а бактериальные споры выдерживают температуры замораживания. Как правило, если замороженные пищевые продукты потенциально содержат опасные уровни патогенных микроорганизмов, то для снижения их численности до приемлемого уровня такие продукты требуют дополнительно обработки (в частности, тепловой).

К другим факторам, от которых зависит эффект замораживания, относятся скорость замораживания, рецептура пищевого продукта, упаковочный материал, размеры упаковки, температура и продолжительность хранения, условия размораживания и физиологическое состояние микроорганизмов (например, фаза роста) в ходе охлаждения или замораживания.

Известно [Лабутина, 2004; Стрингер, 2004], что в любой продукции общественного питания при медленном понижении температуры после приготовления в интервале  $60...10^{\circ}\text{C}$  можно наблюдать сверхбыстрое размножение микрофлоры в широких масштабах. Важно отметить, что при быстром понижении температуры происходит существенное сокращение процесса размножения. Таким образом, сроки хранения пищевых продуктов зависят в том числе и от скорости охлаждения, и от состояния микрофлоры окружающей среды.

При использовании криотехнологий, благодаря более длительным срокам хранения, у предприятий появляется возможность оптимизации, рационализации и планирования производства за счет экономии на закупках свежей сезонной недорогой продукции, формирования товарного запаса и расширения ассортимента предлагаемой продукции. При условии строгого соблюдения технологических параметров, тщательном контроле качества, микробиологических показателей и всех рекомендаций разница в продукции, приготовленной по классической технологии и с использованием криотехнологий, не проявляется.

Резюмируя и обобщая изложенную научно-техническую информацию источников, можно заключить, что замораживание пищевых продуктов вызывает их сложные физические и химические изменения, но и не может полностью уничтожить все микроорганизмы. Выживание патогенных микроорганизмов в пищевых продуктах при замораживании является важной проблемой. Микроорганизмы, характеризующиеся низкой дозой инфицирования, из замороженных пищевых продуктов должны полностью исключаться.

Высокая эффективность замораживания как одного из наиболее безопасных и ценных с пищевой точки зрения методов консервирования не должна создавать иллюзию полной безопасности продукта и не отменяет необходимость проявления должной осмотрительности в цепи поставок замороженной продукции. Если в логистической цепи, включающей производство, хранение, транспортировку, дистрибьюцию, розничную торговлю и кулинарную обработку различных замороженных продуктов растительного или животного происхождения, не обеспечиваются надлежащие условия на базе комплексного подхода «от фермы до стола», то это ускоряет биохимические процессы порчи пищевых продуктов.

Необходимо отметить важность вопроса повышения эффективности использования сырья растительного и животного происхождения, продления их сроков годности, повышения качества продукции и безопасности услуги общественного питания [ГОСТ 31985-2013], в том числе при использовании различных конкурентоспособных физико-химических технологий, приемов и методов (электростатическая обработка, электрохимическая активация и др.).

### 1.6.6 Правовые аспекты применения материалов и технологий с наносоставляющей

В России проблема правового регулирования производства, оборота и контроля наноматериалов встала достаточно остро, ввиду запланированного развития нанотехнологий в различных отраслях промышленности в рамках программ развития инфраструктуры наноиндустрии в РФ на 2008-2011 г. и до 2015 г. Важной составляющей данных программ является разработка правового регулирования и организация контроля наноматериалов. Основным органом, осуществляющим контроль за безопасностью производства и контроль готовой продукции, является Роспотребнадзор при участии лабораторий (испытательных центров), аккредитованных в установленном порядке.

В соответствии с приказом Роспотребнадзора N 340 от 30.11.2007 (п. п. 12, 17, 22) была разработана "Единая компьютерная база данных по наноматериалам и нанотехнологиям, используемым в Российской Федерации (реестре)". В настоящее время существует более 40 нормативных документов регулирующих разработку, производство, реализацию и постреализационный контроль продуктов, содержащих наноматериалы и полученных с применением нанотехнологий. Большая часть документов имеет статус методических указаний и рекомендаций, в том числе МУ 1.2.2636-10, МУ 1.2.2638-10.

Частным случаем применения НЧ и наноматериалов является их использование в упаковочных материалах для придания им новых свойств или улучшения характеристик. Безопасность применяемых с этой целью наносистем должна оцениваться по нормам МР 1.2.2522-09 «Выявление наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека».

Таким образом, процесс производства, оборота и утилизации упаковочных наноматериалов должен отвечать, как требованиям, предъявляемым к классической упаковке согласно ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки», так и специ-

фическим требованиям, касающихся наносоставляющей, и изложенных в методических указаниях Роспотребнадзора.

Приведенные факты изучения и применения нанотехнологий в различных отраслях промышленности свидетельствуют об их положительном воздействии на современное положение российской науки и экономики. Ранее, в работах многих ученых сектору общественного питания, как плацдарму для внедрения нанотехнологий, не было уделено должного внимания, во многом из-за недостатка информированности о способах безопасного применения различных наноразмерных частиц. Теперь, благодаря различным программам, направленным на развитие nanoиндустрии в России, объем и спектр исследований в этой области значительно расширились, что дало возможность по-новому взглянуть на проблемы общественного питания и найти новые решения.

Расширив область изучения применения наночастиц в пищевых технологиях, возможно будет определить безвредное для человека и окружающей среды их количество. Станет возможным внедрение отдельных наноструктур в производственные процессы и продукты общественного питания.

Использование нанопокровтий и коллоидных растворов НЧ поможет предотвратить развитие патогенной микрофлоры, как в производстве, так и на предприятиях общественного питания, продлить сроки хранения скоропортящейся продукции и упростить методы получения многофункциональных пищевых добавок.

Вопрос обеспечения безопасности предоставления услуги питания на предприятиях общественного питания, в связи с многочисленными распространяющимися и постоянно мутирующими инфекционными патогенами, требует повышенного внимания. Научно-исследовательские и прикладные работы в части обеспечения безопасности пищевых продуктов различных сроков хранения посредством современных технологий продолжают и развиваются.



## 1.7 Заключение по аналитическому обзору, обоснование направления авторского исследования, его цели и задач

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.

Показано, что использование некачественного и небезопасного продовольственного сырья при изготовлении кулинарной продукции, недостаточных объем инвентаря и столовой посуды, нарушение санитарных требований при мытье посуды - лишь некоторые причины, когда здоровью посетителей причиняется вред (отравления, инфекционные заболевания). С едой передаются возбудители листериоза, норовирусной и ротавирусной инфекций, вирусного гепатита А и др.

Наиболее опасными с точки зрения возникновения инфекций являются многокомпонентные салаты (главным образом с майонезом и сметаной), кондитерские изделия с кремом (пирожные и торты с кремом), изделия из рубленого мяса (рулеты, котлеты, паштеты), плохо промытые фрукты и овощи. Так, например, по данным Американского управления по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов в 46 национальных вспышках кишечной инфекции (особые штаммы кишечной палочки, вызывающей тяжелые или смертельные отравления) в период 2006-2019 гг. причиной являлось употребление зелени (салат ромен, шпинат

и другие). Аналогичные вспышки были зафиксированы и в Европе. Важным является обработка салата.

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

Внедрение современных физико-химических методов, к которым относится электрохимическая активация, имеет большое значение для совершенствования и повышения эффективности технологических процессов в пищевых производствах и индустрии питания:

- эффективность, за счет реакционной способности метастабильных растворов в технологических процессах и при обеззараживании;
- экологичность, за счет отсутствия токсичности и наименьшего класса опасности;
- экономичность, за счет использования в процессе электролиза воды или пищевых солей в малой концентрации.

Физико-химические свойства ЭХАР позволяют прогнозировать его биотехнологическую активность. При этом метастабильные фракции (анолит, католит) со временем переходят в стационарное состояние, характерное для воды.

Важно отметить, что реализация исследования связана с созданием научно-практической базы и разработкой технико-технологических решений в области наук о жизни по критической технологии снижения потерь от социально значимых заболеваний (Приоритетное направление развития науки, технологий и техники №4, Критическая технология № 22, утв. Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. N 899), в соответствии с перечнем социально значимых заболеваний (туберкулез, гепатит В, гепатит С и др.), а также перечнем заболеваний, представляющих опасность для окружающих (сибирская язва, холера, чума, гепатит В, гепатит С, туберкулез и др.), утвержденными Постановлением Правительства РФ от 1 декабря 2004 г. № 715 «Об утверждении перечня социально значимых заболеваний и перечня заболеваний, представляющих опасность для окружающих» (с изменениями и дополнениями от 13 июля 2012 г № 710).

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.

Анализ научно-технической литературы свидетельствует о значительной актуальности избранной темы, в связи с чем сформулирована **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 раство-

ров, 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, ана-

лиз социальной значимости и экономической эффективности при обеспечении безопасности и комплексного ресурсосбережения в индустрии питания.

Приоритет работы отдается разработке новых подходов к обеспечению биологической безопасности и повышению эффективности сельскохозяйственного производства. Фундаментальная значимость и прикладная ценность исследования включает в себя перспективу использования полученных новых знаний и накопленного уникального опыта в агропищевых и биотехнологиях и индустрии питания на этапах жизненного цикла производства продуктов.

## 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

### 2.1 Организация работы и структура исследования

Изложен подход к выполнению работы, описана схема организации исследований, указывающая на взаимосвязь основных этапов работы с объектом и предметом исследования, приведены используемые методы, методики и приборы исследования.

#### 2.1.1 Схема организации и проведения исследования

Организация работы и структура исследования включали в себя три этапа: теоретический этап исследований, экспериментальный этап работы и практическую реализацию результатов.

Структурная схема исследований приведена на рисунке 8.

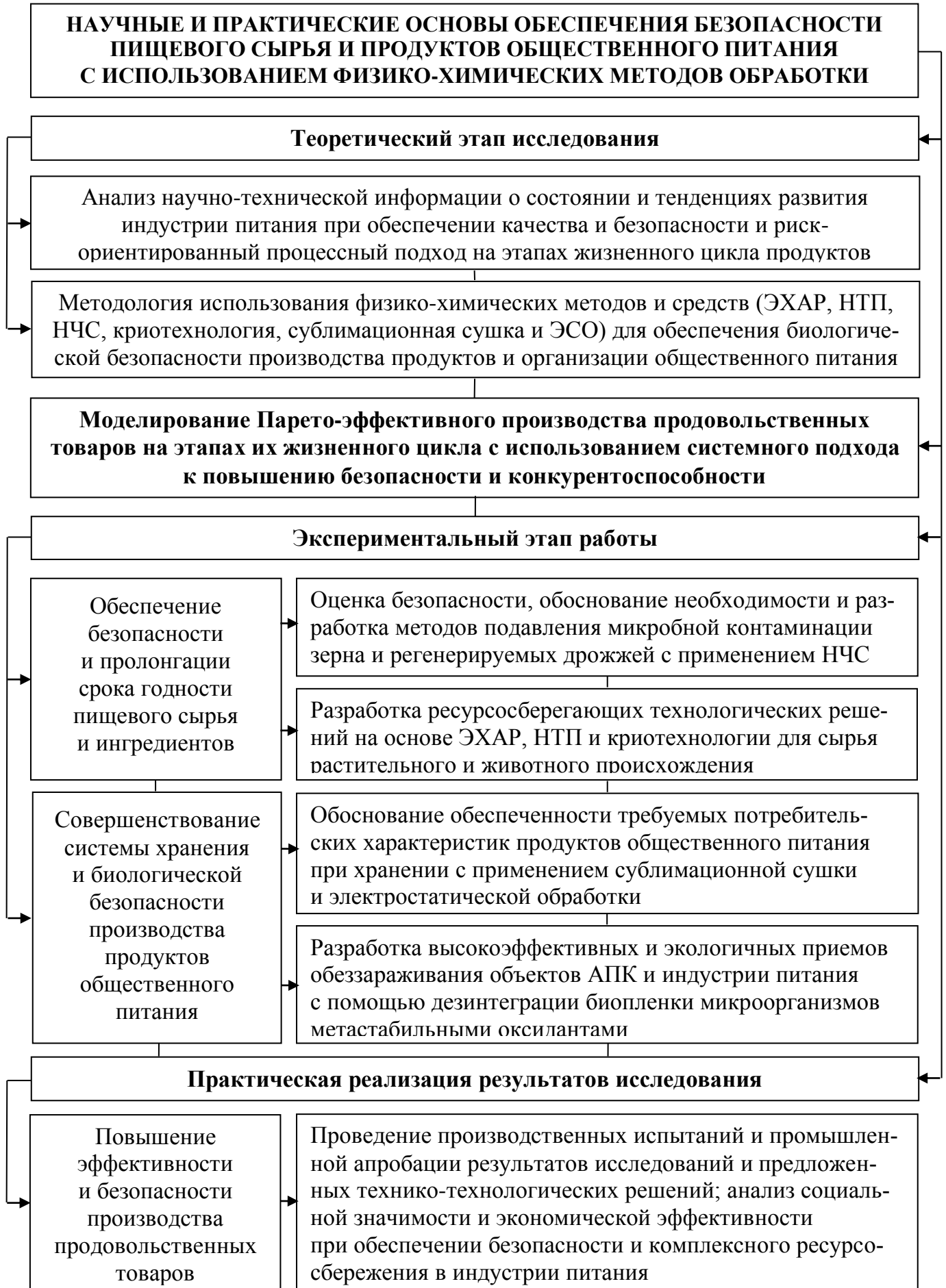


Рисунок 8 – Схема проведения исследования

На первом теоретическом этапе исследований на основании аналитического обзора данных литературы обосновано направление авторского исследования, его цель и задачи. Обоснованы на основе патентных исследований ресурсы, перспективные для применения в индустрии питания.

Изучено состояние и тенденции развития качества, безопасности и ресурсосбережения в индустрии питания, нормативно-правовые аспекты. Научно обосновано применения прогрессивных технологических решений. Проанализировано теоретическое и методологическое обеспечение, проведена организация исследований.

Затем была разработана модель Парето-эффективного производства продовольственных товаров на этапах их жизненного цикла с использованием системного подхода к обеспечению безопасности и конкурентоспособности продуктов питания.

Выполнен комплекс фундаментальных и поисковых научных исследований по обоснованию и оценке возможности применения прогрессивных физико-химических методов и нанотехнологических средств при производстве, хранении и реализации продукции общественного питания, пролонгация их сроков годности.

Изучены механизмы, критические факторы, технологические особенности посредством высокоэффективных технико-технологических решений и средств в общественном питании, в их ряду криотехнологические решения, сублимация, нанотехнологические средства, элетрохимическая активация, электростатическая обработка. Исследованы прикладные аспекты, режимы, технологии повышения эффективности жизненного цикла продукции общественного питания от производства до потребления и утилизации отходов.

Основные исследования проводились в лабораториях кафедр «Индустрия питания, гостиничного бизнеса и сервиса», «Технологии хлебопекарного, макаронного и кондитерского производств» и в лаборатории фундаментальных и прикладных исследований качества и технологий пищевых продуктов МГУПП.



Для разработки метода борьбы с патогенными микроорганизмами (*Listeria monocytogenes*) в качестве генератора низкотемпературной аргоновой плазмы (НТП) использовалась исследовательская установка MicroPlaster  $\beta$  на базе ФГБУ НИЦ эпидемиологии и микробиологии имени почетного академика Н.Ф. Гамалеи Минздрава России (лаборатория Экологии возбудителей инфекций).

Исследование тонкого строения рельефа поверхности чистой и покрытой биопленкой выполнены на базе ЦКП «Структурно-функциональные исследования биосистем» ФГБУН Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН (г. Пущино) в лаборатории функциональной микроскопии биоструктур.

Метод масс-спектрометрии вторичных ионов (ToF-SIMS) проводили на базе ФГБУН ФИЦ химической физики им. Н.Н. Семенова РАН (г. Москва), используя оборудование ЦКП «Анализ химических, биологических систем и природных материалов: масс-спектральная микроскопия и фемтосекундная лазерная микроскопия-спектроскопия».

На заключительном этапе результаты исследования практически реализованы. Разработаны методические и практические решения повышения качества и безопасности продукции и услуг общественного питания, повышения эффективности производства и конкурентоспособности продовольственных товаров на всех этапах их жизненного цикла.

Сформирован системный подход к научным и прикладным аспектам комплексного ресурсосбережения в индустрии питания, методы и технологические приемы для обеспечения качества и безопасности потребительских товаров в процессе их хранения.

Доказана социальная значимость и приведена оценка технико-экономической эффективности, включая анализ снижения издержек при производстве. Проведены производственные испытания, международная научная и опытно-промышленная апробация, результаты интеллектуальной деятельности защищены патентами.

### 2.1.2 Объект и предмет исследования

Посредством анализа состояния и тенденций развития отрасли при обеспечении качества, безопасности и ресурсосбережения теоретически обоснованы и подтверждены направления авторских исследований, актуальность и целесообразность их проведения.

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.

Сформулирована проблема обеспечения безопасности продовольственных товаров на всех этапах жизненного цикла, требующая решения на основе комплексного изучения действия предлагаемых прогрессивных методов обработки на технологические мишени индустрии питания.

### 2.2 Стандартные, аналитические и специальные методы исследования и визуализации структуры

Несмотря на прогресс и повышение технологического уровня в пищевой индустрии проблема биологической безопасности пищи в последние годы приобретает все большую значимость. Так, применение антибиотиков (АБ) в медицине и сельском хозяйстве и антропогенные воздействия «форсировали» эволюцию

бактерий и привели к появлению среди традиционных контаминантов продуктов питания штаммов с измененными свойствами, резистентных к АБ, с дополнительной патогенностью.

Прогнозируемый прирост вновь возникающих пищевых инфекций требует пересмотра существующих методов обеспечения биологической безопасности пищевых продуктов. В этой связи необходимым является внедрение современных технологий, в их ряду, разработанные методологические приемы продления срока годности продукции общественного питания сублимационной сушкой, обеззараживания пищевых объектов нанокolloидными частицами серебра, ЭСО полуфабрикатов и готовых блюд, обеззараживания производственных поверхностей экологически чистым ЭХАР на специально созданном лабораторном стенде, моделирующем процессы, протекающие в водопроводных системах предприятия питания.

Достижение цели и решение задач научно-исследовательской работы стало возможно с использованием современного оборудования, методов и материально-технической базы. При выполнении работ применяли комплекс стандартных, аналитических и специальных методов исследования и подходов визуализации структуры, в их ряду микробиологические, реологические, спектральные, микроскопические, генетические, молекулярные, органолептические, физико-химические, математические.

Обработка результатов исследований выполнялась с использованием программы MathCAD, достоверность данных оценивали методами математической статистики посредством программы Microsoft Excel с вероятностью 0,95.

Наночастицы серебра (НЧС). Для определения размера частиц применяли спектрофотометр СФ-56 (Россия). Общее содержание серебра в жидкой среде определяли с применением атомно-адсорбционного спектрометра КВАНТ–Z.ЭТА (Россия). В экспериментах использовали чистые культуры микроорганизмов: *Micrococcus varians*, *Pediococcus claussenii*, *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*, *Aspergillus niger*, *Penicillium candidum*, *Rhizopus oryzae*.

Для ингибирования процессов микробиологической порчи зерновых культур использовали коллоидные растворы НЧС «Коллоидное серебро Аджента» (производитель ООО «КоролевФарм», Россия; СГР и разрешение для производства, реализации и использования на основании экспертного заключения ФГБУ «НИИ питания» РАМН (в н.в. ФГБУН ФИЦ питания и биотехнологии) №72/Э-295/б-12 от 12.04.2012 г.) и коллоидный раствор НЧС «КНД-С-К» (НПП ООО «Сентоза факторинг НП», Россия).

На сканирующем спектрофотометре Evolution300 (ThermoScientific, США) фиксировали оптические спектры растворов наночастиц. Кроме того, для изучения наноразмерных средств использовали атомно-силовые микроскопы NTEGRA Prima, Solver Next (ЗАО НТ-МДТ, Россия), атомно-абсорбционный спектрометр Квант Z ЭТА-Т (Кортек, Россия), ИК-спектрометр Spectrum 100 (Perkin Elmer, США).

Для культивирования использовались следующие среды: мясо-пептонный агар (МПА), среда MRS и агаризованная среда на основе капустного отвара (для молочнокислых бактерий), сусловый агар (для мицелиальных грибов).

Для подготовки к исследованию миграции наносеребра упаковочные материалы промывали дистиллированной водой, после чего удаляли влагу сухой фильтровальной бумагой по ГОСТ 12026-76. Для нанесения раствора наносеребра на упаковочный материал полиэтиленовую пленку помещали в колбу, снабженную магнитной мешалкой и заполненную 0,1 Н водным раствором НЧС «Арговит». После этого содержимое колбы с помощью мешалки перемешивали в течение 5 мин, при этом происходило первичное закрепление НЧС на поверхности упаковки. Далее пленку вынимали из раствора и промывали водой. После промывки упаковочный материал высушивали естественным образом и направляли на облучение ультрафиолетом.

Облучение упаковочных материалов проводили ультрафиолетовыми лампами с длинной волны не менее 200 нм для исключения образования озона. Миграцию наносеребра из упаковочного материала изучали путем его инкубации с жидкими модельными средами определенного состава. Образцы упаковочного

материала нарезали на фрагменты точно определенного размера, которые двукратно ополаскивали дистиллированной водой, после чего немедленно помещали в модельные растворы. Определение количества серебра в водных вытяжках из пленок проводили посредством атомно-адсорбционного спектрометра «СПЕКТР-5» (Россия).

Электрохимически активированные растворы (ЭХАР). Физико-химические показатели ЭХАР и воды (ОВП, pH, общее содержание растворенных веществ - минерализацию) определяли общепринятыми методами с помощью многопараметрического прибора Excellence S475 (METTLER TOLEDO, Швейцария), портативного pH-метра/термометра/ОВП/милливольтметра HI 991003N (HANNA Instrument, США), комплекта AMPEROMETRIC DIGITAL TITRATOR SYSTEM для титрометрического определения активнодействующих веществ (HANNA Instrument, США).

Для исследования системы обеззараживания посредством ЭХАР применялись следующие методы: 1 – морфологический анализ принадлежности микроорганизмов к различным классам; 2 – микробиологический анализ на тест-пластинах Petrifilm для определения общего микробного числа; 3 – сканирующая электронная микроскопия (SEM), определяющая эффективность дезинтеграции бактериальных сообществ; 4 – ПЦР анализ по критерию наличия остаточных клеточных фракций и времяпролетную масс-спектрометрию вторичных ионов; 5 – математическое описание потока жидкости. Для этого создан испытательный стенд – трубопровод сложной конфигурации (модель турбулентного потока жидкости на производстве). ПВХ трубки стенда являлись основой для формирования сообщества бактерий.

Ингибирующее действие ЭХАР изучали на бактериальной пленке, сформированной суспензией микроорганизмов, которая включала комплекс МКБ в составе сухого пробиотического препарата «Эвиталия» – комплекс лиофильно высушенных штаммов МКБ с различной оптимальной температурой роста (°C): *Lactococcus lactis* ВКМ В-2232D (28÷32), *Streptococcus thermophilus* ВКМ В-2237D (40÷45), *Lactobacillus acidophilus* ВКМ В-1660 (37÷39), *Lactobacillus helveticus*

*BKM B-842* (40÷44), *Propionibacterium freudenreichii ssp. Shermanii* *BKM B-2233D* (30÷37), сохранивших способность к активному росту и размножению, и подвижную неспорообразующую кишечную палочку *E. coli*. Водную суспензию закваски «Эвиталия» использовали для получения планктонной формы комплекса МКБ.

С целью унификации условий испытаний и, следовательно, упрощения их воспроизведения на других исследовательских платформах, в эксперименте использовали утвержденные Минздравом РФ коммерческие препараты — источники пробиотических микроорганизмов, рекомендованные в качестве БАД к пище.

Препарат «Колибактерин» (НПО АО Микроген, Россия) содержит лиофильно высушенную в среде культивирования с добавлением сахарозо-желатозо-желатиновой среды микробную массу живых бактерий кишечной палочки М-17. Препарат «Бификол» (НПО АО Микроген, Россия) представляет собой биомассу живых активных штаммов бактерий *Escherichia coli* М-17 (ГКПМ № 240418) и *Bifidobacterium bifidum 1* (ГКПМ № 900791) лиофилизированную в среде культивирования с добавлением защитной среды высушивания (сахарозо-желатино-молочной). В одной дозе препарата должно содержаться живой кишечной палочки не менее  $10^7$  КОЕ и живых бифидобактерий не менее  $10^7$  КОЕ. Также использовали кишечную палочку *E. coli*, планктонная форма которой получена из коллекции лаборатории Л.А. Железной (ФГБУН ИТЭБ РАН, г. Пущино, сектор генной инженерии).

Помимо моделирования различных способов формирования биопленки, выбор видов микроорганизмов для эксперимента обусловлен технологическими причинами. В их ряду необходимость удаления кишечной палочки, которая в том числе может быть внесена на предприятие водой из системы полива. В этом случае эффективность разрушения *E. coli* в составе пленки определит безопасность выращиваемой овощной продукции. Молочнокислые бактерии могут попадать в хозяйство в виде биоудобрений.

Биопленку микроорганизмов получали по методу, разработанному Погореловым А.Г. [Погорелов, 2018]. Трубки с диаметром 10 мм разрезали пополам по направляющей линии и для фиксации биопленки на 12 час при 4°C погружали в

1,5 % раствор глутаральдегида. Последующую фиксацию осуществляли в растворе 1 % OsO<sub>4</sub> в течение 12 час при 20°C, препарат дегидратировали в 3 водных растворах этилового спирта (концентрации 50 %, 75 %, 98 %). Удаление этанола осуществляли с помощью HMDS и высушивали на воздухе. Полученные пробы монтировали с помощью токопроводящего клея на объектодержатель электронного микроскопа.

Перед работой на установке JFC 1600 (JEOL, Япония) на поверхность препарата наносили токопроводящую пленку платины с толщиной 20 нм посредством ее ионного распыления металла в среде аргоновой плазмы. Ультраструктуру биопленки изучали посредством сканирующего электронного микроскопа JSM-6390A (JEOL, Япония) в режиме вторичных электронов с ускоряющим напряжением 10 кВ (увеличение 200-10000 раз).

В рамках стендового биопленкообразования с контролируруемыми заданными параметрами в различных модельных системах интерактивную съемку формирования и дезинтеграции биопленки осуществляли с помощью световой микроскопии высокого разрешения (Альтами 105, Россия) при 2000-кратном увеличении.

Для удаления бактериальной пленки внутреннюю полость трубки обрабатывали потоком раствора гидроксида натрия 10 % (рН 13,5-13,8, ОВП -35 ... -50 мВ), щелочного католита (рН 13.4-13.5, ОВП -50 ... -600 мВ). В ряде экспериментов использовали анолит (эквивалент активного хлора 450-550 мг/дм<sup>3</sup>, рН 5.5-6.5, ОВП 900-1000 мВ, «Анолит АНК СУПЕР»). ЭХАР получали в установке «СТЭЛ-АНК-СУПЕР» (ООО «Делфин Аква», Россия).

Контролем служила биопленка, промытая водопроводной водой (рН 7.3-7.6, ОВП 250-290 мВ). В анолите определяли суммарную концентрацию хлоркислородных и гидропероксидных оксидантов в эквиваленте активного хлора методом йодометрического титрования согласно Инструкции №ДА 005-13 по применению средства для целей дезинфекции и стерилизации (ООО «Делфин Аква», Россия).

Общее микробное число (ОМЧ) устанавливали экспресс-методом подсчета жизнеспособного числа клеток на тест-пластинах Petrifilm RAC согласно инструкции по применению тест-пластин.

Для оценки эффективности удаления биопленки, образованной хорошо известным микроорганизмом *E.coli*, образцы, полученные в модельном рециркуляционном реакторе, использовали для анализа методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) в реальном времени (PCR-RT). Указанным методом на молекулярном уровне отслеживается наличие в пробе гена клетки данного вида. Экстрагировали ДНК с внутренней поверхности трубки, используя Genomic DNA purification kit (Thermoscientific, #K0512). Анализ PCR-RT проводили на установке 7300 RealTime PCR System (США).

С целью определения молекулярного состава остаточного слоя матрикса на внутренней поверхности модельного трубопровода толщиной несколько десятков нанометров использовали метод ToF-SIMS (time-of-flight secondary ion mass spectroscopy, времяпролетная масс-спектрометрия вторичных ионов).

В настоящем исследовании использовали пролетный масс-спектрометр вторичных ионов TOF-SIMS 5 (ION-TOF GmbH, Германия). Препарат ионизировали сфокусированным пучком первичных кластерных ионов  $Bi^{3+}$  с энергией 30 кэВ. Позиционирование на исследуемую область образца осуществляли с помощью микровидеокамеры, встроенной в камеру масс-спектрометра.

Пучок первичных ионов (диаметр фокуса  $\sim 200$  нм, длительность импульса  $\sim 70$  нс, регистрация вторичных ионов  $\sim 80$  мкс) перемещался на один пиксель поверхности; при этом размерность анализируемого участка составляла  $512 \times 512$  пикселей.

Анализ потребительских предпочтений проведен с помощью электронной платформы «Google Forms», определение статистических данных по запросам «Ростбиф» и «Пищевые отравления» к общему числу поисковых запросов - на платформе «Google Trends». Определение органолептических показателей мяса проводили согласно ГОСТ 9959-2015. Образцы бактерицидного льда для хранения рыбы получали с помощью льдогенератора COOLEQ ZB-15AP (Китай). Для исследования овощного сырья был выбран салат листовой сорта «Афицион». Микроскопические исследования образцов продовольственного сырья проводили



в режиме проходящего света с помощью микроскопов Микромед 2 (Россия), Axio Imager M1 (Zeiss, Германия).

Сублимационная сушка исследуемых образцов выполнена с помощью лабораторного комплекса СВП-0,36 (Россия) в МГУПП (Лаборатория сублимационной сушки). При проведении исследований использовали сырье, необходимое для приготовления кулинарных изделий, соответствующее медико-биологическим требованиям, санитарным нормам качества продовольственного сырья и требованиям нормативно-технической документации: малина свежая по ГОСТ Р 54691-2011, клубника свежая по ГОСТ Р 53884-2010, черника свежая по ГОСТ Р 54696-2011, смородина черная свежая по ГОСТ 6829-89, смородина красная свежая по ГОСТ Р 54698-2011, вишня свежая по ГОСТ 21921-76, мед натуральный по ГОСТ Р 19792-2001, крупа гречневая по ГОСТ 5550-74, фарш свиной жаренный по ГОСТ Р 55365-2012, мясо говяжье жаренное по ГОСТ Р 52601-2006, мясо свиное жаренное по ГОСТ Р 52986-2008, соль поваренная пищевая ГОСТ Р 51574-2000, масло подсолнечное по ГОСТ Р 52465-2005.

Номера ГОСТ указаны как действующие на момент проведения экспериментов. Оценку антиоксидантной активности проводили кулонометрическим титрованием на анализаторе ЭКСПЕРТ 006 («ЭкониксЭксперт», Россия).

Электростатическая обработка (ЭСО). Разработаны и протестированы уникальные стенды и установки оригинальной конструкции по электростатической обработке исследуемых образцов, защищенные патентами. Физико-химические показатели водных растворов (ХПК, БПК<sub>5</sub>, общий азот, фосфор) определяли по общеизвестными гостированными методиками.

Низкотемпературная плазма (НТП). Исследования выполнены в лаборатории Экологии возбудителей инфекций ФГБУ "ФНИЦЭМ им Н.Ф. Гамалеи" Минздрава России, где осуществляется работа с ПБА (патогенными биологическими агентами) III-IV группы патогенности. Объектом исследования была выбрана белокочанная капуста (Россия). Инокулюм приготовлен из *Listeria monocytogenes* EGD.

В ходе работы применялись различные методы: методы идентификации листерий (окраска по Граму и при помощи ПЦР - рисунок 9); метод исследования биопленок в 96-луночном плоскодонном полистироловом планшете; приготовление инокулюма; инокуляция капустного листа (для контаминации  $1 \text{ см}^2$  внутренней стороны капустного листа листы предварительно стерилизовались УФ-излучением по 15 мин с каждой стороны, рисунок 10); обработка НТП; метод отпечатков для качественного определения эффективности НТП; подсчет числа КОЕ после обработки НТП).

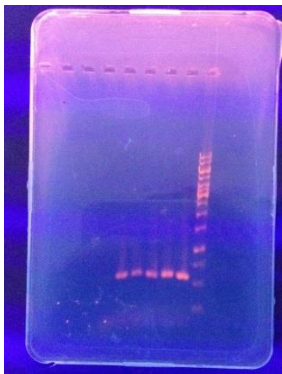


Рисунок 9 – Гель, содержащий маркер и ПЦР-продукты

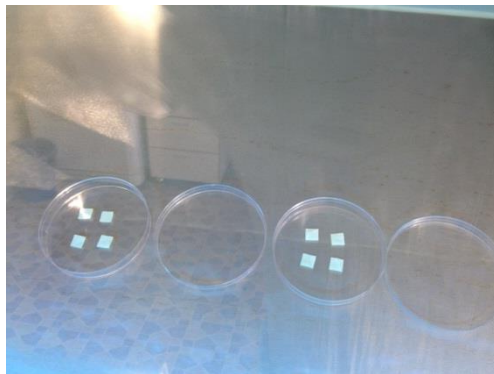


Рисунок 10 – Обработка образцов в ламинаре УФ-излучением

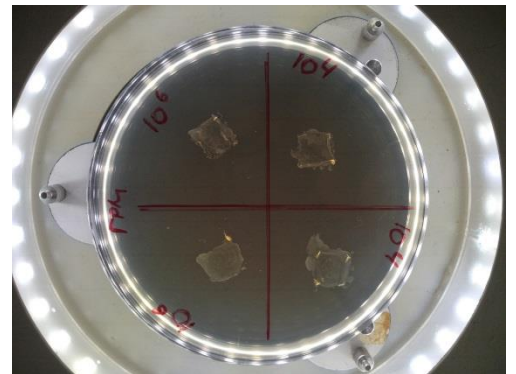


Рисунок 11 – Отпечатки образцов для определения заражающей концентрации листерий

Заражающая концентрация листерий  $10^4$  КОЕ/г подобрана экспериментально методом отпечатков (рисунок 11). При помощи серийных разведений с шагом 10 были получены концентрации  $10^4$  и  $10^6$  КОЕ/г, которыми были контаминированы образцы. После чего образцы помещались в термостат при  $30^\circ\text{C}$  на 24 ч (для формирования биопленок) или на 1 час (для исследования планктонных клеток). Перед выполнением непосредственно отпечатка образцы отмывались стерильным раствором PBS (фосфатный буферный солевой раствор). После получения отпечатка на среде ГРМ (гидролизат рыбной муки) чашки Петри помещались в термостат при  $37^\circ\text{C}$  на 24 ч.

Так как отличия в отпечатках оказались незначительными, была выбрана заражающая концентрация листерий  $10^4$  КОЕ/г. В качестве генератора низкотемпературной плазмы (НТП) использовалась исследовательская установка MicroPlaster  $\beta$  (рисунок 12).



Рисунок 12 – Генератор низкотемпературной аргонной плазмы

При исследовании эффективности НТП в отношении планктонных клеток образцы капусты, нарезанные квадратом со стороной 1 см, инкубировались после инокуляции в течение 1 ч при 30°C. Затем производилась их обработка НТП в течение 2, 5 и 7 мин. Первоначально эффективность обработки определялась при помощи метода отпечатков. Далее при помощи количественного метода определялось число оставшихся бактерий и эффективность плазменной обработки. Микроскопические исследования образцов проводили в проходящем свете с помощью микроскопа Axio Imager M1 (Zeiss, Германия).

В работе использовался метод исследования биопленок в 96-луночном планшете, выполненный в трех повторностях. В качестве контроля использовалась питательная среда, в которой выращивались листерии – ВНІ (Brain-Heart Infusion Broth, сердечно-мозговой бульон). Интенсивность окраски измерялась на спектрофотометре при длине волны 540 нм, данные обрабатывались статистически. Для проведения данного эксперимента образцы капусты были инокулированы 100 мкл суспензии *L. monocytogenes* с концентрацией  $10^4$  КОЕ/г. Для образования на поверхности листа биопленок образцы в закрытых чашках Петри поме-

щались в термостат на 24 ч при 30°C. Затем, после промывания PBS, они обрабатывались НТП. Для качественной оценки применялся метод отпечатков, при котором образцы после облучения стерильным пинцетом прикладывались к поверхности твердой питательной среды в чашке Петри. Для количественного определения эффективности обработки НТП определялось число выживших бактерий.

Статистическая обработка данных осуществлена в программе Microsoft Excel for Mac 2011 Version 14.3.0.

### 2.3 Физико-химические методы обеспечения биологической безопасности в индустрии 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 невымытых продуктов;
- нарушение режимов приготовления и др.

Существующие методы обеззараживания кроме несомненных преимуществ, обладают рядом недостатков (таблица 4). Требуется разработка новых, экологических и энергоэффективных технологий повышения безопасности продуктов питания.

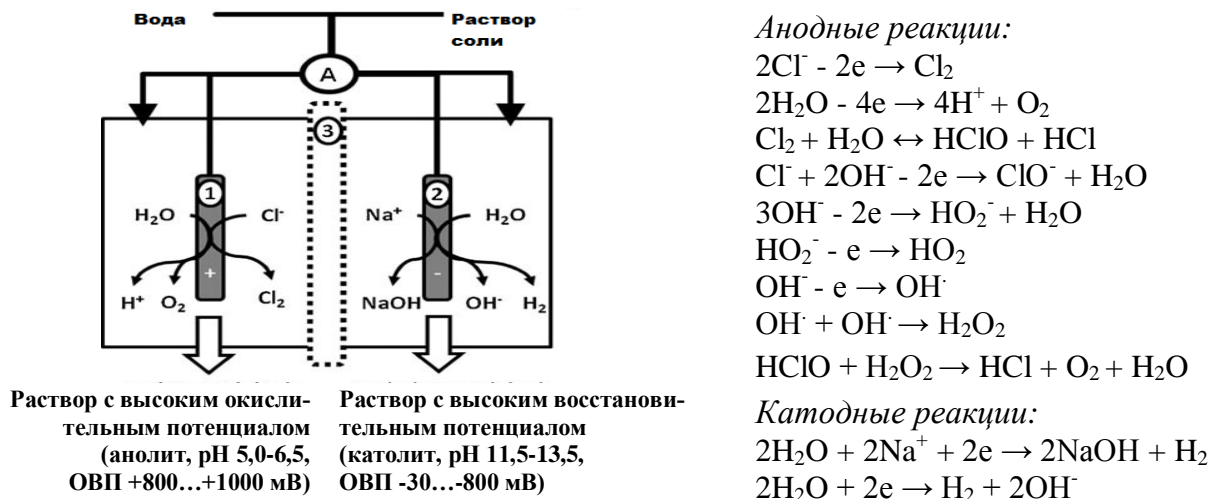
Таблица 4 – Преимущества и недостатки наиболее распространенных средств обеззараживания на предприятиях

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, микобактерий, вирусов и бактериальных 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 концентрациях и температурах; легко смывается	Подходит только для кислотостойких поверхностей; 2-й класс опасности 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 условия 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 выполнен патентный поиск и обосновано применение 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 13.



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.

Эффект ЭХА заключается в сохранении энергии возбужденного состояния вещества и в трансформации этой энергии в ходе последующих химических реак-

ций. Неоспоримым преимуществом анолита является безопасность для окружающей среды и для людей (по ГОСТ 12.1.007-76 4 класс малоопасных веществ) вследствие полного разложения до пресной воды после использования.

К настоящему времени накоплен значительный опыт применения ЭХАР в целях безреагентного управления свойствами пищевых сред, ускорения и оптимизации технологических процессов. В ряде исследований приведены теоретические обоснования, расчеты и гипотезы, объясняющие причины выявленных эффектов, однако большинство исследователей ограничивается их фиксацией и описанием.

Перспективным является выявление закономерностей влияния метастабильных ЭХАР на органолептические, микробиологические, физико-химические показатели качества продуктов питания. Внедрение методов электрохимии в пищевые технологии без использования дополнительных реагентов позволит улучшить качество продуктов питания и повысить производительность производства.

Для разработки новых методов борьбы с патогенными микроорганизмами *Listeria monocytogenes* активно начинает применяться обработка низкотемпературной плазмой - слабоионизованной газовой смесью с температурой в пределах  $10^5\text{K}$ . В большинстве случаев используется НТП, генерируемая при атмосферном давлении в атмосфере азота, кислорода, гелия, водорода, аргона или их смесей.

Использование плазмы обосновывается образованием негативно и позитивно заряженных ионов, свободных радикалов, фотонов УФ, поэтому с ее помощью можно провести процессы в объеме или на поверхности. Состав и присутствие этих частиц значительно зависит от самого источника плазмы [Graves, 2012].

Типичные электрические разряды, применяемые для получения НТП, приведены на рисунке 14 (данные из открытых источников информации). Разряд диэлектрического барьера представляет собой разряд переменного тока, получаемый между двумя электродами, разделенными твердым диэлектрическим материалом (стекло, пластик). Этот материал позволяет избежать переноса заряда, в то время как коронный разряд действует только в ограниченном пространстве (вблизи самого электрода). Плазменная горелка не является типом разряда, но представляет собой сочетание различных зарядов, описанных ранее.

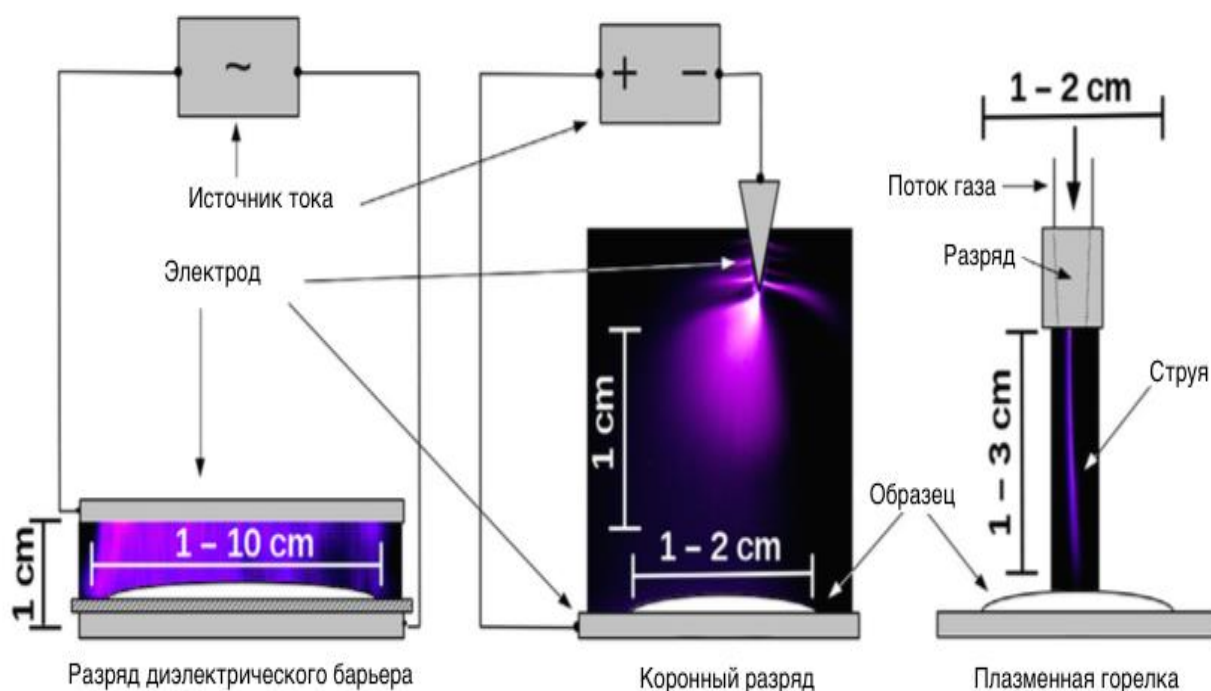


Рисунок 14 – Схематичное описание типичных электрических разрядов для получения НТП

Как правило, активная область используемого разряда продувается потоком вспомогательного газа, который вытягивает частицы за пределы зоны электрода в ионизирующие волны и формирует поток активных частиц, которые горят в виде небольшой струи. Применение НТП по обработке продуктов питания для обеспечения их биологической безопасности требует комплексных исследований.

Использование наноразмерных материалов является перспективным в различных отраслях промышленности (в том числе пищевой) согласно прогнозу научно-технологического развития России до 2030 г. (резолуция Минобрнауки РФ № ДМ-П8-5 от 03.01.2014, приоритетное направление «Новые материалы и нанотехнологии»). Наночастицы серебра как антимикробное средство используются в различных отраслях. Однако внедрение НЧ в пищевом производстве ограничивается требованиями безопасности при их применении и необходимо отметить, что механизм и специфика действия НЧС в полной мере не изучены.

Внедрение и активное использование криотехнологических решений является способом сохранения качества пищевых продуктов, но не удаляет риск микробиологической контаминации. Представляется перспективным комбинирование



методов физико-химической обработки (например, с метастабильными электрохимически активированными водными растворами) с целью пролонгации срока годности продукта при обеспечении его безопасности.

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 15.

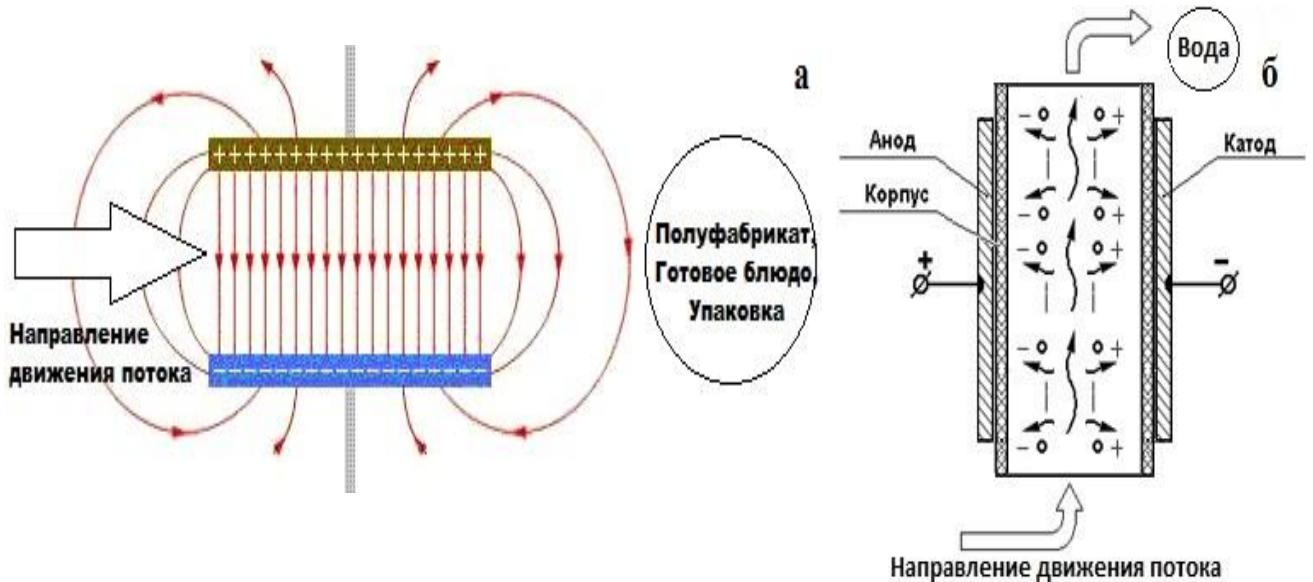


Рисунок 15 – Принципиальная схема (а) и устройство блока (б) электростатической обработки

Образуемый при ЭСО ионизированный газ вызывает гибель микроорганизмов, разрушая их клеточную структуру. ЭСО может применяться в различных областях индустрии питания: при панировке, копчении, при использовании в рецептуре вкусоароматических добавок, в целях ускорения сушки, в целях обеззараживания и для сокращения сброса сточных вод в водоемы за счет увеличения их использования как оборотных.

## 2.4 Заключение по второй главе

В настоящее время все еще нет единого мнения о том, какой ценой можно получить сокращение потерь, или как в глобальном масштабе и в каждом конкретном случае решать указанные проблемы. Возможно, описанная проблема, пусть и частично, может решаться применением прогрессивных физико-химических методов и технико-технологических решений.

Проблему удовлетворения потребности населения в безопасных и качественных продуктах питания можно решать совершенствованием технологических процессов и снижением потерь при переработке, транспортировке и реализации продуктов. Традиционно используемые методы сохранения продукции общественного питания в своем развитии достигли предела своего развития, что обуславливает необходимость поиска новых высокоэффективных методов обработки продовольственного сырья. Наиболее перспективными являются следующие прогрессивные физико-химические решения: нано- и криотехнологические, термические, сублимационные, электрофизические и электрохимические.

В сравнении с существующими методами повышения безопасности пищевой продукции, у применяемых в работе технико-технологических способов выделяют такие достоинства, как эффективность, экологичность, экономичность и универсальность, что обеспечивает формирование требуемого уровня качества и безопасности пищевой продукции, пролонгацию срока годности и снижение количества пищевых отходов при повышении защищенности населения посредством нераспространения инфекций.

Применяемый системный и риск-ориентированный подход к решению проблемы обеспечения качества, безопасности и пролонгации срока годности пищевых продуктов посредством научного обоснования и применения прогрессивных методов их физико-химической обработки может способствовать пониманию механизмов перехода на высокоэффективное и безопасное производство продукции

общественного питания, способствовать достижению целей охраны здоровья населения и профилактики массовых пищевых отравлений, в соответствии с Законом РФ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения".

Значимость исследования подтверждается целевыми постулатами Указа Президента РФ от 11 марта 2019 г. № 97 "Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу", согласно которому одними из основных задач является предупреждение и минимизация химических рисков, проведение научно-исследовательских работ по созданию технологий, обеспечивающих допустимый уровень негативного воздействия опасных химических факторов на население и окружающую среду.

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 эффективности 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

#### 3.1 Парето-эффективное производство продовольственных товаров

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 с повышенной патогенностью, резистентных к антибиотикам. Резюмируя изложенное выше и анализируя общемировую статистику пищевых и водных отравлений по данным ВОЗ, следует считать необходимым принятие мер обеспечения 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 общая 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 стадии

ях ЖЦ) и информационном (данные о продукте, оценки 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  $\mathbf{K} = \langle \bar{K}_1, \bar{K}_2, \bar{K}_3, \bar{K}_4 \rangle$ , являющийся выходом предыдущего звена, где каждый  $\bar{K}_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) есть вектор нормированных оценок по критериям – показателям качества пищевых 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 есть 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 даны 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  $\max k_{ij}$ , тогда оценка может быть вычислена 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 тоже 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 16), которая включает звенья (стадии) предобработки и производства, 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.

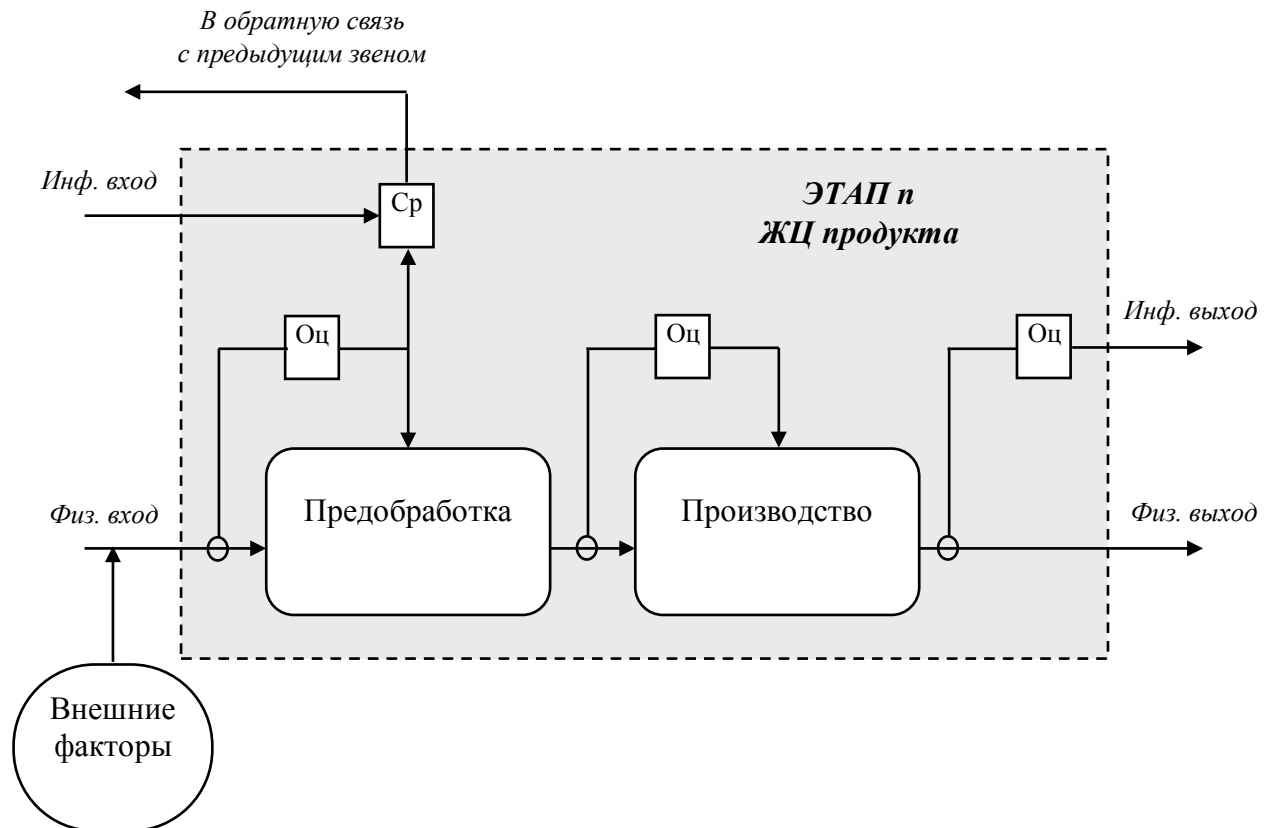


Рисунок 16 – Этап ЖЦ продукта как система

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 нормированных 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 17. Например, Парето-оптимальное множество 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.

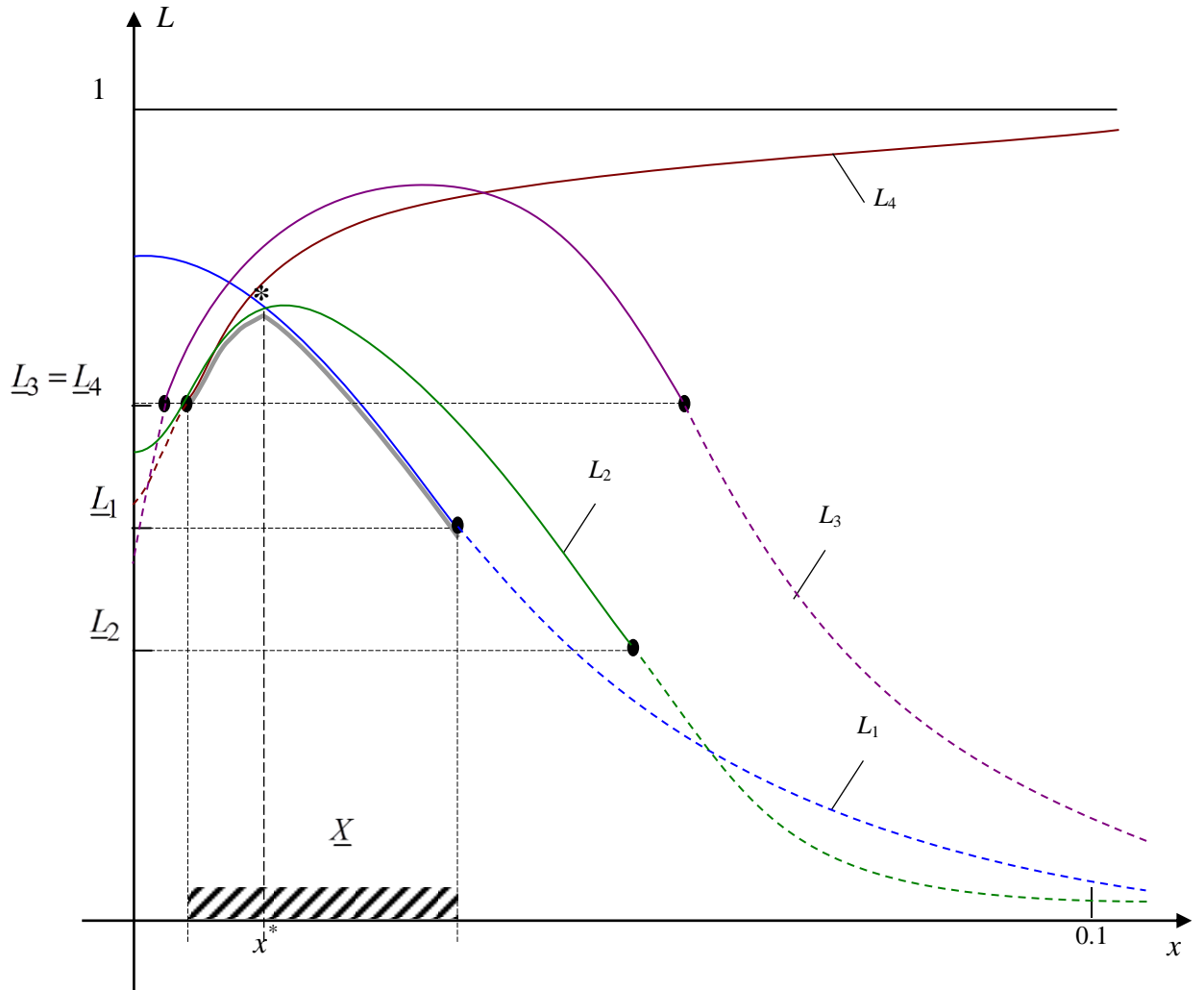


Рисунок 17 – Определение оптимального компромиссного уровня воздействия по принципу гарантированного результата

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, показанные на рисунке 17, 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 17 будет соответствовать кривая, являющаяся Парето-эффективным множеством точек или Парето-фронтom  $L|_{l_0}$ . Совокупность этих кривых для других начальных состояний про-



дукта образует поверхность Парето-эффективных фронтов, а чебышевские решения  $L_{zap}$  представляют лежащую на ней кривую.

На рисунке 18 показана поверхность Парето-эффективных фронтов в критериальном пространстве оценок  $\mathbf{L} = \langle L_1, L_2, L_3 \rangle$  по первым трем критериям. Цветом выделена та часть, для точек которой выполняются условия, обусловленные спецификациями ( $L \geq \underline{L}$ ).

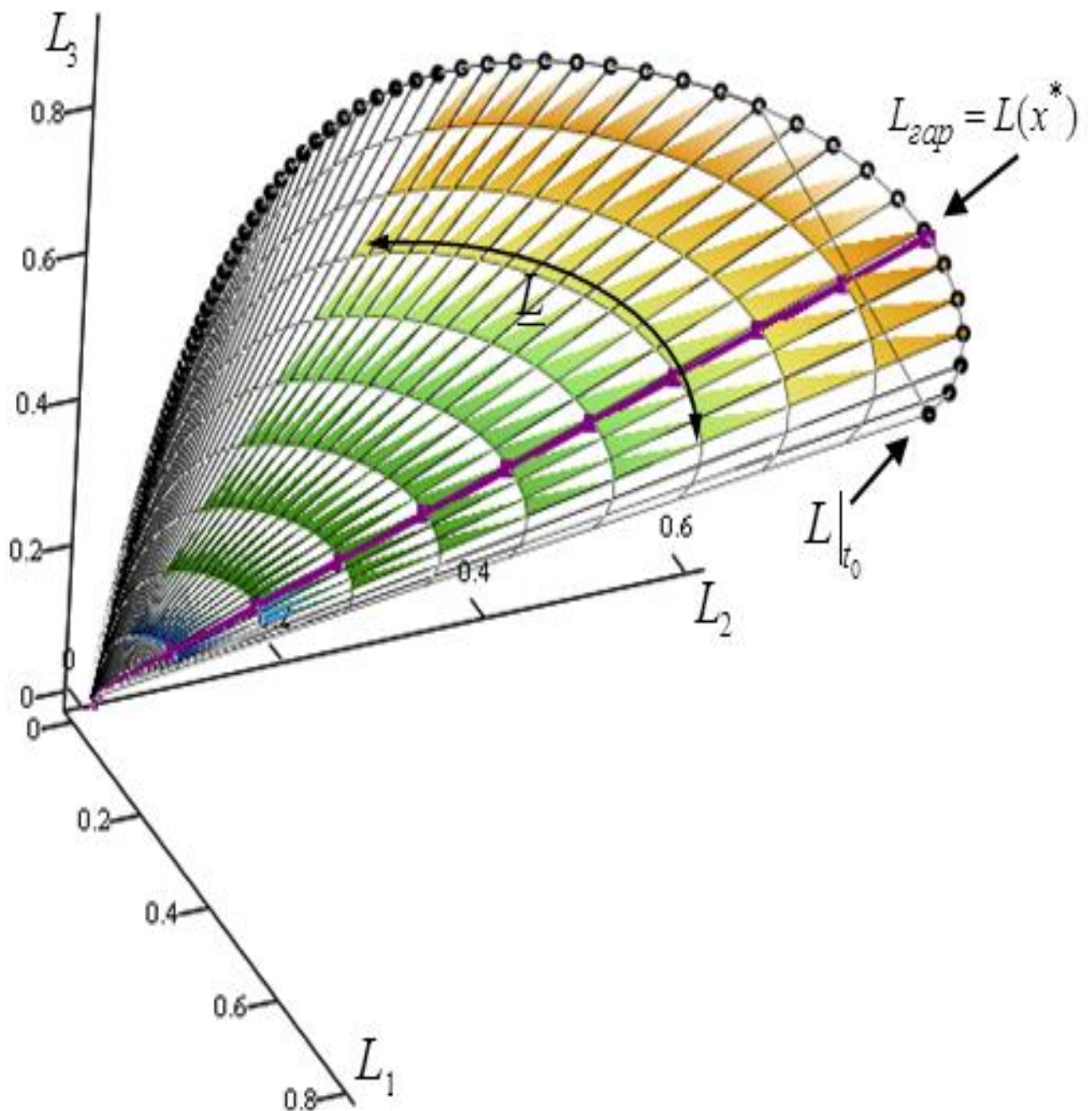


Рисунок 18 – Парето-эффективные фронты в критериальном пространстве оценок  $\mathbf{L} = \langle L_1, L_2, L_3 \rangle$  по первым трем критериям

На рисунке 19 показаны Парето-эффективные фронты в критериальном пространстве оценок  $\mathbf{L} = \langle L_1, L_2, L_3 \rangle$  для разных начальных состояний продукта.

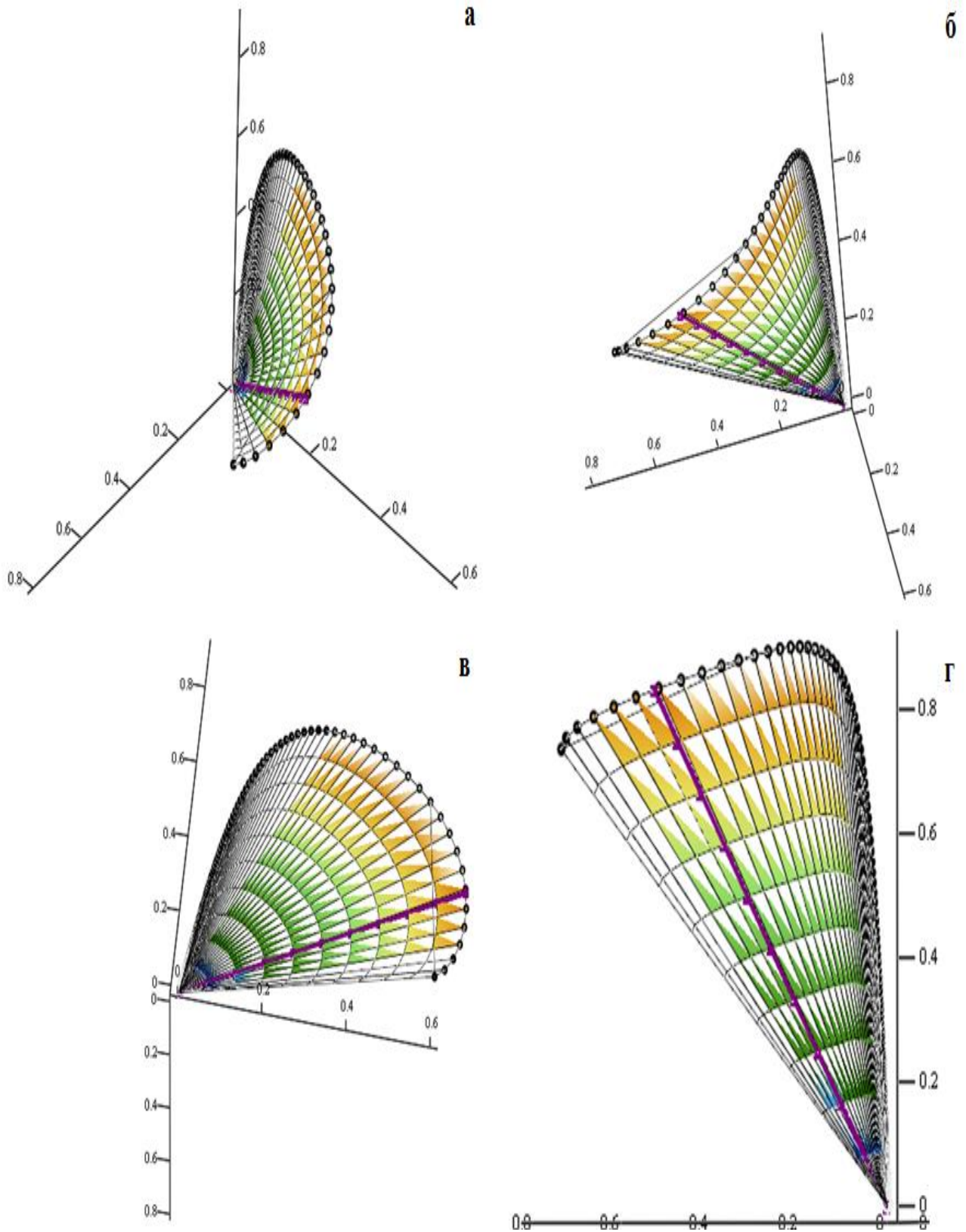


Рисунок 19 – Парето-эффективные фронты в критериальном пространстве оценок  $\mathbf{L} = \langle L_1, L_2, L_3 \rangle$  для разных начальных состояний продукта (а–г)

Таким образом, разработана модель Парето-эффективного производства продовольственных товаров на всех этапах их жизненного цикла, в том числе для разных начальных состояний продукта. На следующем этапе работы необходимо проведение общей оценки обеспечения качества жизненного цикла продукта на всех стадиях с учетом важности каждого звена и его оценки весовым коэффициентом.

### 3.2 Общая оценка обеспечения качества жизненного цикла продукта на всех стадиях

Выход  $n$ -го макро-звена стадии ЖЦ оценивается по принципу  $L^n = \min_i L_i^n$  как меньшая из оценок по критериям, где  $L_i^n$  – оценки из четверки  $\langle L_1, L_2, L_3, L_4 \rangle$ , соответствующие  $n$ -му звену. В случае применения описанного выше принципа, очевидно,  $L^n = L_{\text{ср}}^n$ .

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  $w_n = w_{n-1} / (1 - \underline{L}_n)$ ,  $n = 1, \dots, N - 1$ ,  $N = 7$ ,  $w_0 = 1$ , 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

$$w_n = \left( \prod_{s=1}^n (1 - \underline{L}_s) \right)^{-1}, \quad n = 1, \dots, N-1.$$

Нормировка этих весовых коэффициентов проводится стандартно

$$w_n^0 = w_n \left( \sum_{n=1}^{N-1} w_n \right)^{-1}, \quad n = 1, \dots, N-1.$$

При оценке последнего 7-го 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:

$$L = \sum_{n=1}^{N-1} w_n^0 L^n.$$

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

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

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

### 3.3 Заключение по третьей главе

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

### 4.1 Микробиологическая стабилизация зернового сырья

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]. Однако решение проблем контаминации зерна при обеспечении безвредности применения НЧС требует всестороннего изучения.

Биологическая безопасность биотехнологических процессов в настоящее время является актуальной проблемой в сфере производства пищевых продуктов, в особенности с использованием нано- и криотехнологий. Внедрение прогрессивных технологий в производственные процессы является перспективным шагом на пути к повышению эффективности производства [Ермолаева, 2004; Кирш, 2016; Purgiotakis, 2014].

Принимая во внимание потенциальную угрозу попадания наночастиц в пищевые продукты, необходимо подробно изучить механизм их действия на клетки микроорганизмов, разработать технологии управления биотехнологическими процессами в производстве продуктов питания с применением наносистем и оценить степень безопасности при использовании [Куклева, 2009; МУ 1.2.2637-10; Постановление Правительства РФ от 23.04.2010 №282; Radzig, 2013; Wakshlak, 2015].

Риск микробного инфицирования зернового сырья и продуктов его переработки является серьезной проблемой в различных отраслях АПК [Пасичник, 2012; Леонтьев, 2013; ФАО, 2018; Mussatto, 2006]. Перспективные способы предотвращения и подавления микробиологической контаминации с помощью НЧС характеризуются некоторыми проблемами, в частности, с токсикологической безопасностью наноматериалов [Хотимченко, 2009; Зайцева, 2016; Chaudhry, 2011; Radzig, 2013].

В хлебопечении большое значение имеет определение рабочих концентраций НЧС, обеспечивающих предотвращение «картофельной болезни» в пшеничных хлебоублочных, а в пивоварении при антибактериальной обработке зерна ячменя и пшеницы [Исаева, 2015; Priest, 2003; Petica, 2008; Mikhienkova, 2011; Zhang, 2011]. Известно, что коллоидные растворы НЧС одинаково активны и против грамотрицательных, и грамположительных бактерий [Баландин, 2015; Guzman, 2012; Litvin, 2013; Balandin, 2014; Podkoraev, 2014]. Антибактериальным действием обладают также НЧ, содержащие селен или диоксид титана [Weir, 2012; Tran, 2015].

С учетом литературных данных об ингибирующем эффекте в отношении клеток мицелиальных грибов, как более резистентных к НЧС, в работе подбирали концентрацию коллоидного раствора НЧС. Согласно [Зимон, 2012; Баландин, 2016; Sintubin, 2011; Podkoraev, 2014], механизм ингибирования НЧС напрямую связан с их размером, способом получения и отношением площади поверхности к объему. Для определения размера НЧС («Сентоза факторинг НП», Россия) использовали спектрофотометр СФ-56 (РФ). 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 необхо-

димый 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 5 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 5 – Микробиологические показатели зерновой массы пшеницы и ячменя, исходной и обработанной НЧС

Образец зерна		Плесень, КОЕ/г		КМАФАнМ, $\times 10^3$ 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±0,1	Не обнаружено	
<i>«Ускоренное хранение»</i>	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)		<b>1,81</b> <b>p&gt;0,05</b>	<b>5,72</b> <b>p&gt;0,05</b>	<b>16,4</b> <b>p&lt;0,05</b>	<b>88,5</b> <b>p&lt;0,05</b>	—	
<i>После «ускоренного хранения»</i> (эффект после хранения)		<b>33,4</b> <b>p&lt;0,05</b>	<b>43,9</b> <b>p&lt;0,05</b>	<b>275,0</b> <b>p&lt;0,05</b>	<b>91,8</b> <b>p&lt;0,05</b>	—	



Анализ данных позволяет сделать вывод о статистически значимом эффекте антимикробной обработки зерна. 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 6).

Таблица 6 – Содержание серебра в исследуемых пробах после щелочной обработки

Продолжительность щелочной обработки, ч	Концентрация серебра, г/дм <sup>3</sup>
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	<b><math>(4,81 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}</math></b>
4	<b><math>(2,92 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}</math></b>
5	<b><math>(1,76 \pm 0,04) \cdot 10^{-5}</math></b>

Концентрация серебра в сусле, полученном из проб ячменя, находившихся в растворе щелочи в течение 3–5 ч, не превышала  $5 \cdot 10^{-5}$  г/дм<sup>3</sup> (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). Эффективность щелочной обработки, возможно, была обусловлена ее способностью дестабилизировать хитозан, содержащийся в НЧС.

Таким образом, в работе определены рабочие концентрации НЧС и предложен метод снижения содержания серебра в обработанном зерне для последующего использования в индустрии питания. При этом перспективным является проведение дополнительных исследований на соответствие положениям ТР ТС 029/2012 и выявление режимов применения наноразмерных средств других металлов или по другим направлениям АПК [Гугля, 2012; Pyrgiotakis, 2014]. Подробно механизм действия НЧС и научно-практические рекомендации отрасли для антимикробной обработки пшеницы, ячменя и ржи на основании полученных результатов приведены в работе [Суворов, 2017].

## 4.2 Антибактериальная обработка дрожжей

В настоящее время достигнутое на технологическом уровне улучшение качества и снижение микробиологического заражения дрожжей не обеспечивает необходимого контроля за контаминацией дрожжей при их генерации, хранении и использовании. Режимы переработки сырья в процессе сбраживания дрожжами, как правило, приводят к появлению бактериальной микробиоты, обычно превышающей  $10^4$  клеток/см<sup>3</sup> в сбраживаемой среде или в дрожжевой разводке при ее хранении [Ильяшенко, 2006; Славская, 2012; Branyik, 2004].

Кроме того, сусло, в котором размножают дрожжи или которое дрожжи сбраживает, является благоприятной для бактериального роста средой и может содержать дополнительное к дрожжам *Saccharomyces cerevisiae* такие виды бактерий, как *Bacillus cereus*, *Erwinia herbicola*, *Escherichia coli*, *Lactobacillus brevis*, *Micrococcus varians*, *Pediococcus claussenii*, *Pseudomonas fluoresces*. Эти контаминанты могут уменьшать продуктивность дрожжегенерации и брожения, а также другие производственные проблемы.

Изучение доступных источников информации [патенты №№ 2539792, US 6326185; Izquiero-Canas, 2012] показало, что НЧС с диаметром менее 15 нм, стабилизированные полисахаридами, ранее не применялись для обеспечения микробиологической чистоты дрожжей. Нами впервые было изучено избирательное влияние НЧС на дрожжевые и бактериальные микроорганизмы в зависимости от концентрации частиц в среде, агрегатного состояния среды и рН.

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. Исследование в твердых средах проводили луночно-диффузионным ме-

тодом, а в жидких – с помощью контрольного посева на мясопептонный агар (таблица 7).

Таблица 7 – Минимальные ингибирующие концентрации коллоидного раствора НЧС при воздействии на бактериальные микроорганизмы

Исследуемые микроорганизмы	МИК в твердой питательной среде, г/дм <sup>3</sup>	МИК в жидкой питательной среде, г/дм <sup>3</sup>
<i>Bacillus cereus</i>	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
<i>Erwinia herbicola</i>	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
<i>Escherichia coli</i>	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
<i>Lactobacillus brevis</i>	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
<i>Micrococcus varians</i>	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$0,5 \cdot 10^{-3}$
<i>Pediococcus clausenii</i>	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$
<i>Pseudomonas fluoresces</i>	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$

Таким образом, МИК в твердых питательных средах составляют 0,0015-0,0025 г/дм<sup>3</sup>, а в жидких - 0,0005-0,001 г/дм<sup>3</sup>. 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. Полученные данные приведены в таблице 8.

Таблица 8 – 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 <sup>3</sup>								
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
<b>48</b>	<b>52,00</b>	<b>37,50</b>	<b>53,50</b>	<b>54,75</b>	<b>40,75</b>	<b>52,25</b>	<b>51,50</b>	<b>41,50</b>	<b>52,50</b>	<b>51,25</b>

Контроль – отсутствие НЧС и клеток бактерий; образцы А – концентрация НЧС 0 г/дм<sup>3</sup>, В – 0,001 г/дм<sup>3</sup>, С – 0,002 г/дм<sup>3</sup>.

После культивирования определяли концентрацию мертвых клеток *S. cerevisiae*, наличие бактериальной инфекции проверяли путем контрольного посева на мясопептонный агар (таблица 9).

Таблица 9 – Микробиологический контроль образцов после 48 ч культивирования

Образец		Концентрация мертвых клеток дрожжей, %	Наличие колоний бактерий на питательной среде
Контроль		1.92	Отсутствуют
<i>Bacillus cereus</i>	A	2.21	Присутствуют
	B	1.79	Отсутствуют
	C	1.94	Отсутствуют
<i>Escherichia coli</i>	A	3.15	Присутствуют
	B	1.98	Отсутствуют
	C	1.97	Отсутствуют
<i>Micrococcus varians</i>	A	3.61	Присутствуют
	B	1.83	Отсутствуют
	C	1.89	Отсутствуют
Контроль – отсутствие НЧС и клеток бактерий; образцы А – концентрация НЧС 0 г/дм <sup>3</sup> , В – 0,001 г/дм <sup>3</sup> , С – 0,002 г/дм <sup>3</sup>			

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).

Внесение в дрожжи НЧС до концентрации  $0,004 \text{ г/дм}^3$  при традиционной технологии пивоварения обеспечивало их содержание в сброженном сусле, не превышающее  $0,00005 \text{ г/дм}^3$  и соответствующее санитарными нормам РФ.

На основании полученных результатов можно рекомендовать следующие режимы антибактериальной обработки дрожжей на стадии накопления и в процессе очистки.

1. На стадии накопления чистой культуры *S. cerevisiae* в суслодрожжевую суспензию вносят коллоидный раствор НЧС, стабилизированный гуараном, для достижения конечной концентрации НЧС  $0,001-0,003 \text{ г/дм}^3$ . Дальнейшее образование дрожжей проводят согласно производственной технологии. При заборе части аккумуляированной биомассы и повторном добавлении сусла, концентрацию НЧС доводят до  $0,001 \text{ г/дм}^3$ . Данный режим предотвращает развитие инфекции при бактериальном загрязнении в процессе накопления культуры в условиях применения нестерильного сусла или по технологии открытых систем, характерной для малых предприятий.

2. Инфицированные дрожжи *S. cerevisiae* второго и последующих поколений в процессе очистки для дальнейшего применения обрабатывают коллоидным раствором НЧС, стабилизированных гуараном. Раствор НЧС вносят в количестве, обеспечивающим концентрацию наночастиц  $0,002 \text{ г/дм}^3$ . Суспензию дрожжей выдерживают 4-6 ч и затем хранят под слоем воды или пива.

Разработанный способ защищен патентом № 2584603 и отмечен дипломом международной ярмарки "Идеи - Инновации - Новые разработки" IENA-2017 (г. Нюрнберг, Германия, 2017 г.). Достигнуто отсутствие контаминантных бактерий в биомассе дрожжей, а при обработке инфицированных дрожжей НЧС – количество КОЕ бактерий снижалось на 98,9 %. Предложенный метод эффективно снижает количество микробиоты контаминантов, не влияя на ферментирующие дрожжи, при производстве кваса, пива, спирта, хлебобулочных изделий, хлебопекарных и кормовых дрожжей.

### 4.3 Антибактериальное действие наноразмерных частиц серебра на микроорганизмы зерновых культур

Наноразмерные структуры металлов серебра представляют собой перспективно новый вид материалов, используемый в научных исследованиях в связи с их разносторонним применением в различных областях [Sastry, 2013; Tarafdar, 2013]. Применение серебра в форме наночастиц позволило манипулировать его размером и свойствами на наноуровне, результатом чего стало увеличение антимикробного потенциала. Таким образом, подтверждается, что бактерицидный эффект НЧС зависит от их размеров. И даже после продолжительной обработки исключается возможность микроорганизмов вырабатывать резистентность к наносеребру [Баландин, 2015].

Особым образом необходимо отметить значение наночастиц серебра (НЧС) в пищевой промышленности – технологии применения коллоидных систем в следующих разработках:

- создание специальных упаковочных материалов, покрытых нанопленкой;
- использование биоразлагаемых наносенсоров для контроля температуры и влажности пищевых продуктов;
- введение эмульсионных наносистем в пищу для повышения доступности питательных веществ;
- разработка хелатных наносоединений для повышения эффективности транспорта питательных веществ к клеткам;
- получение нанодисперсных усилителей вкуса и аромата;
- изготовление наноразмерных порошков, облегчающих усвоение питательных веществ;
- применение наночастиц для связывания и выведения пищевых контаминантов;
- разработка антимикробных наноконпонентов, обеспечивающих контроль развития возбудителей пищевых инфекций;

- создание наносенсоров для идентификации растительных и животных патогенов;
- использование флуоресцентных наночастиц для определения химических веществ или патогенов [Асатурова, 2013; Сумелиди, 2016; Chaudhry, 2011; Rashidi, 2011; Ranjan, 2014; Singh, 2016].

Большой интерес в пищевой промышленности представляют исследования в области применения НЧС в качестве антимикробного агента при разработке антибактериальных средств против ряда бактерий и мицелиальных грибов [Шульгина, 2012; Esteban-Tejeda, 2009]. Это связано, прежде всего, обостряющейся проблемой снижения качества и безопасности продуктов в результате высокой адаптивной способности патогенных микроорганизмов к изменяющимся условиям среды.

Особую настороженность, в частности, вызывает практическое отсутствие применения эффективных мер оздоровления зерновой продукции. Заражение зерновых возбудителями грибной и бактериальной этиологии в той или иной мере происходит ежегодно и проявляется при переработке. Недобор урожая при одновременном ухудшении технологических качеств зерна в отдельных случаях может составлять до 30 % [Смирнова, 1989; Леонтьев, 2013; Malomo, 2013].

Снижение показателей качества зерна и продуктов его переработки во многом обусловлено спорными бактериями *Bacillus mesentericus vulgatus* Flügge и *Bacillus subtilis* - возбудителями бактериозов [Горленко, 1996; Медведев, 2011; Tewari, 2015]. Зерна пшеницы, кукурузы, мука мягкой и твердой пшеницы и отруби характеризуются различной степенью обсемененности спорами бактерий [Ауэрман, 2003; Lücking, 2013; De Bellis, 2015].

Задачей данного этапа работы являлось изучение влияния различных концентраций, содержащих НЧС, на жизнеспособность бактериальной микрофлоры семян некоторых зерновых культур. Для проведения исследований контаминации зерновых культур в качестве объектов использовали семена яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта *Иргина* и озимой ржи (*Secale cereale*) сорта *Крона*. Ко-

личественный и качественный состав бактериальной микрофлоры зерна исследовали методом электронной микроскопии.

Для ингибирования процессов микробиологической порчи зерновых культур использовали коллоидные растворы НЧС «Коллоидное серебро Аджента» («Аджента», производитель ООО «КоролевФарм», Россия) и «КНД-С-К» (НПП ООО «Сентоза факторинг НП», Россия).

Методом динамического лазерного динамического светорассеяния исследовали дисперсность и распределение по размерам наночастиц в коллоидных растворах на анализаторе Nanotrac Zetatrac (Microtrac Inc, США).

Исследуемые коллоидные растворы НЧС методом разбавлений дистиллированной водой доводили до рабочих концентраций 0,075 и 0,1 г/дм<sup>3</sup> экспериментально подобранных с учетом соответствия нормативным документам по толерантному (переносимому) содержанию серебра в питьевой воде (ВОЗ, СанПиН [WHO, 2003; Fewtrell, 2014]). Полученными растворами обрабатывали семена пшеницы и ржи. Для этого в колбу объемом 150 см<sup>3</sup> помещали 50 г семян, вносили расчетную дозу препаративной формы коллоидного раствора серебра с учетом концентраций наночастиц. Колбу с семенами встряхивали в течение 2-3 мин до полного распределения препарата по поверхности семян.

Затем обработанное зерно оставляли в течение 2 ч, после чего пробы исследуемых образцов отбирали в стерильную посуду в асептических условиях, исключая микробное загрязнение сырья, и определяли общее количество бактерий методом посева смывов со степенью разведения 1:100 на мясо-пептонный агар (МПА) с последующим культивированием при температурах (30±1)°С в течение 24-48 ч.

С целью подробного изучения влияния НЧС на бактериальную микрофлору зерновых культур анализ обсемененности образцов проводили также через 24 и 144 ч после обработки. Выбор временных промежутков обоснован, в том числе, особенностями развития микрофлоры зерновых культур (антагонистическим действием одних микроорганизмов по отношению к другим).



Для изучения качественного состава микрофлоры, из колоний микроорганизмов, отличающихся друг от друга по культуральным свойствам, готовили микроскопические препараты (фиксированные мазки, окрашенные по Граму - для изучения морфологии бактерий). Спорообразующие бактерии рода *Bacillus* определяли по методике, описанной в ГОСТ ISO 21871-2013.

Первостепенно в пастеризованных смывах с образцов из расчета 1:100 совершали последовательно посев сначала на жидкую обогащенную среду триптон-соевый полимиксированный бульон (TSPB) с установленным объемом исходной пробы суспензии 10 см<sup>3</sup>. Инкубирование проводили в течение 48 ч при температуре 30°C. Далее осуществляли пересев на твердую питательную среду (PEMBA) и инкубировали в течение 18-48 ч при 37°C для дальнейшего анализа чашек Петри с целью проверки присутствия колоний, которые, согласно своим характеристикам, могут соответствовать презумптивным бактериям *Bacillus*. Для проведения исследований использовали микробиологические среды из HiMedia Laboratories, Индия, Merck Ltd., SRL Pvt., Ltd., Мумбаи.

Согласно ТР ТС 021/2011 нормируются определенные комплексы микроорганизмов зерновых культур (таблица 10).

Таблица 10 – Микробиологические нормативы безопасности зерна

Показатели	Норма
КМАФАнМ, КОЕ/г, не более	$5,0 \cdot 10^3$
БКПП, не допускаются в массе продукта (г)	0,01
Плесень, КОЕ/г, не более	50,0
<i>B. cereus</i> , не допускаются в массе продукта (г)	0,1
Патогенные микроорганизмы, в т.ч. сальмонеллы, не допускаются в массе продукта (г)	25,0

Определение содержания микроорганизмов исследуемого зерна показало соответствие нормируемым показателям, кроме показателя КМАФАнМ. Из полученных данных для пшеницы и ржи при норме  $5,0 \cdot 10^3$  КОЕ/г показатель составлял  $9,0 \cdot 10^3$  КОЕ/г и  $7,0 \cdot 10^3$  КОЕ/г, соответственно.

При изучении качественного состава микрофлоры семян пшеницы и ржи было установлено, что бактериальный комплекс представлен: грамотрицательными

ми бактериями *Erwinia herbicola*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas fluorescens* и грамположительными спорообразующими бактериями рода *Bacillus* (предположительно *Bacillus subtilis*), *Clostridium perfringens*, грамположительными кокками.

Результаты проведенных опытов согласно методике ГОСТ ISO 21871-2013 по выявлению бактерий рода *Bacillus* в составе микрофлор зерновых культур показали наличие этого вида микроорганизмов в семенах пшеницы и отсутствие в семенах ржи (рисунок 20б). Что характерно колонии, соответствующие представителям бактерий рода *Bacillus* (рисунок 20а) имеют размеры от 2 мм до 5 мм, неровные края с разветвлениями на гладкой стеклянной поверхности, цвет беловато-серый в центре и синий/бирюзовый фон, а также ореол осадка (реакция на яичный желток) шириной до 5 мм.

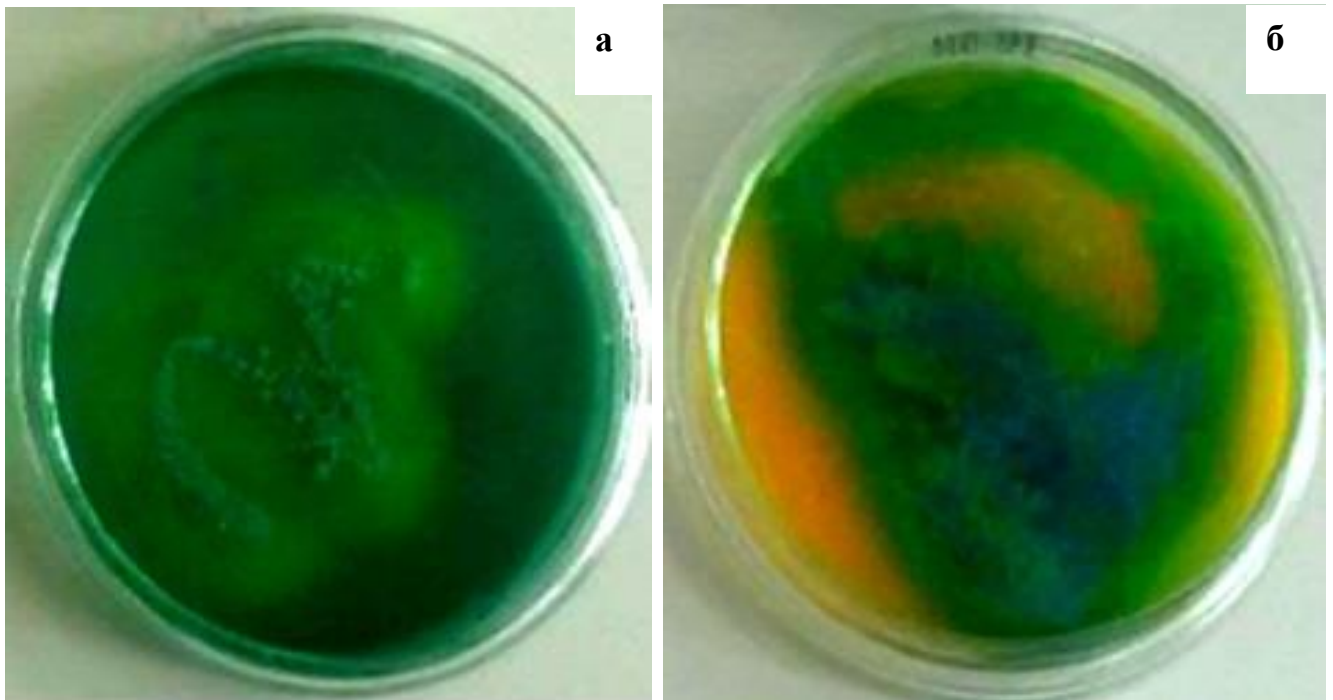


Рисунок 20 – Визуальный анализ презумптивных бактерий рода *Bacillus* микрофлоры: (а) семян пшеницы, (б) семян ржи

Отсутствие колоний соответствующих бактериям рода *Bacillus* при анализе бактериальной микрофлоры семян ржи (рисунок 20б) объясняется, вероятно, различной восприимчивостью растений к данному комплексу микроорганизмов, а также факторами внешней среды выращивания семян [Ибрагимов, 2010; Назаренко, 2013; Омельченко, 2015]. Кроме того, зерно ржи, взятое для проведения исследования, в результате первичного анализа содержания микроорганизмов изна-

чально отличалось от зерен пшеницы меньшей обсемененностью микроорганизмами.

По культурально-морфологическим признакам можно сделать вывод, что данный род бактерии принадлежит к *Bacillus subtilis*. Данная культура образует плоские, сухие колонии плотной консистенции с характерно белым зернистым налетом, легко снимающиеся с агара. Диаметр – 2,5 мм. Края почти ровные или слегка изрезанны. Других типов колоний не отмечено.

Для подтверждения колоний, соответствующих представителям бактерий рода *Bacillus subtilis*, методом микроскопирования было также установлено, что выделенные нами бактерии из микрофлоры семян пшеницы соответствуют данному виду. Это грамположительные тонкие палочки 3-5·0,9 мкм, располагаются одиночно, в виде нитей или цепочек. Могут содержать эллипсоидные или цилиндрические споры, не превышающие в поперечнике ширины микробной клетки (рисунок 21).

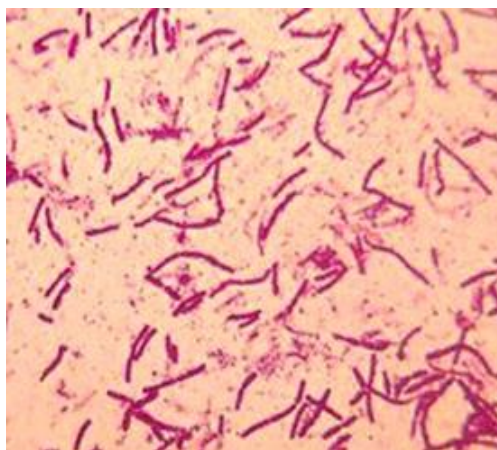


Рисунок 21 – Микроскопический анализ бактерий рода *Bacillus subtilis*

На основании полученных данных о количественном и качественном составе микроорганизмов исследуемых зерновых культур установлена необходимость их обработки антимикробными средствами для предотвращения микробиологической порчи.

Полученные данные по определению антибактериальной активности растворов НЧС в зависимости от концентрации и длительности обработки зерновых культур приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Антимикробная активность различных концентраций НЧС

Время культивирования, ч	Общее количество жизнеспособных микроорганизмов в пшенице (КОЕ/г)				Общее количество жизнеспособных микроорганизмов в ржи (КОЕ/г)			
	«Аджента», г/дм <sup>3</sup>		«КНД-С-К», г/дм <sup>3</sup>		«Аджента», г/дм <sup>3</sup>		«КНД-С-К», г/дм <sup>3</sup>	
	0,1	0,075	0,1	0,075	0,1	0,075	0,1	0,075
2	$8 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$	$7 \cdot 10^3$
24	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$	$6 \cdot 10^3$
144	$4 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$3 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$

Опираясь на исходные данные по содержанию КМАФАнМ в необработанных зерновых культурах можно отметить, что в наименьшей степени эффект антибактериального действия НЧС независимо от концентраций и вида коллоидных растворов проявляется после 2 ч обработки зерна пшеницы и ржи. Вместе с тем, из исследований, проведенных ранее, известно, что при высокой концентрации бактериальных клеток доступ НЧС к клеточной стенке затруднен, происходит снижение биоцидного действия [Блинов, 2014].

При последующем проведении количественного анализа бактериальной микрофлоры зерна, показано, что после 24 ч обработки коллоидные растворы наночастиц в концентрациях 0,1 г/дм<sup>3</sup> в целом на порядок выше проявляют свое действие против комплекса микроорганизмов зерновых по сравнению с более низкой концентрацией НЧС 0,075 г/дм<sup>3</sup>.

Контроль образцов зерна, обработанных НЧС после 24 ч, показал соответствие нормам ТР ТС 021/2011. Анализируя содержание количества микроорганизмов в зерне, прошедшем обработку после 144 ч, можно прийти к выводу, что воздействие НЧС является уже незначительным по сравнению с предыдущим периодом обработки (2-24 ч). Вместе с тем, оценивая антимикробное действие коллоидных растворов от выбранных концентраций после 144 ч путем сравнения их ингибирующего влияния на микроорганизмы, справедливо заметить, что наибольшим эффектом действия в обоих выбранных препаратах обладают рас-

творы НЧС с концентрацией как  $0,075 \text{ г/дм}^3$ , так и  $0,1 \text{ г/дм}^3$ . Полученные данные проиллюстрированы в виде графиков (рисунок 22).

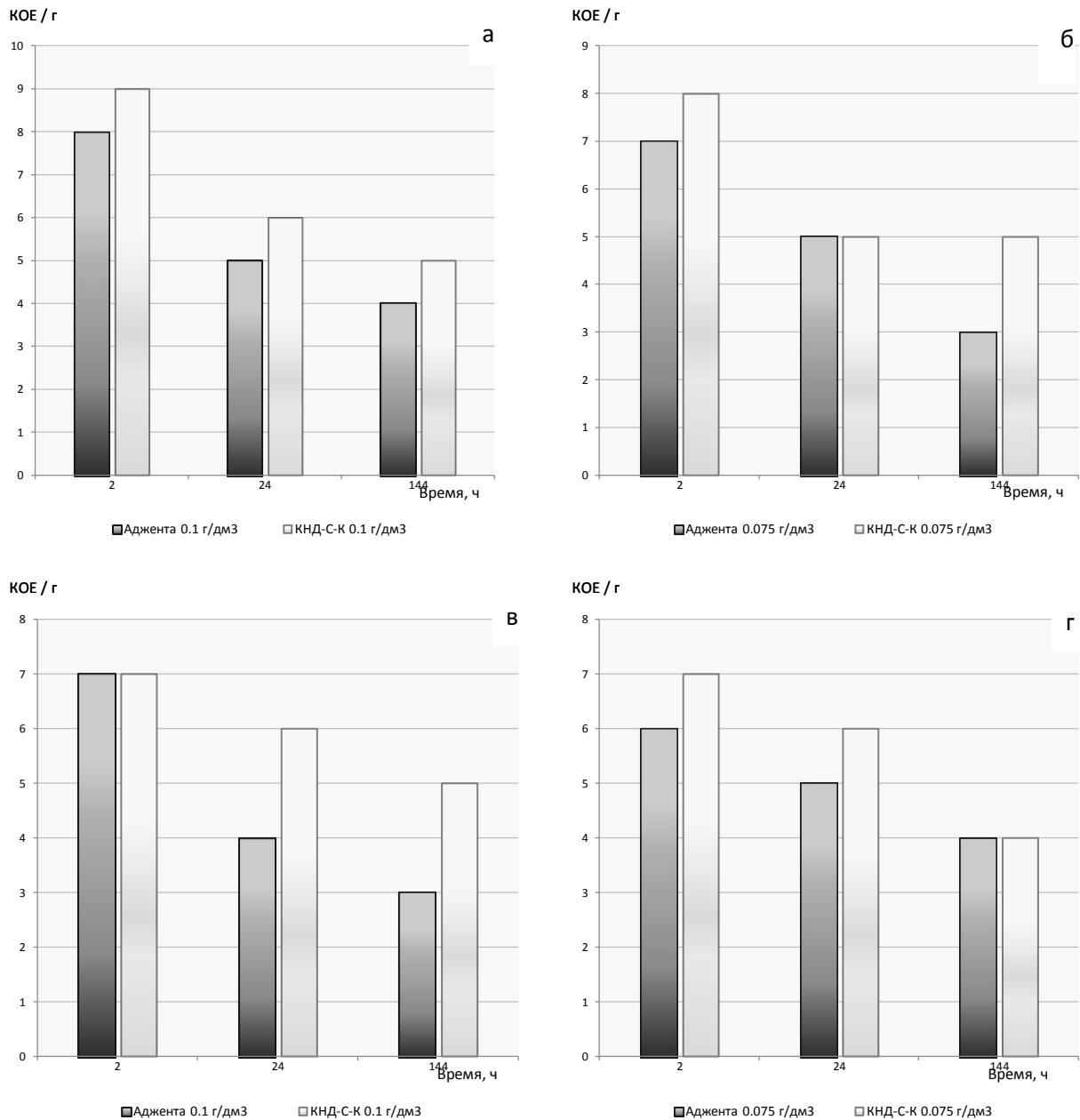


Рисунок 22 – Антибактериальная активность НЧС различных препаратов и концентрации на микроорганизмы пшеницы (а, б) и ржи (в, г),  $\text{КОЕ/г} \cdot 10^3$

На основании проведенных исследований необходимо подчеркнуть высокое противомикробное воздействие коллоидного серебра «Аджента» после 24 ч обработки во всех образцах зерна по сравнению с раствором наночастиц серебра «КНД-С-К». Скорее всего, причиной этому являются различные способы получения и стабилизации НЧС в растворе используемых препаратов. Хорошо известно, что атомы металлов обладают высокой химической активностью, кото-

рая сохраняется в образующихся из атомов кластерах и наночастицах с большим числом атомов, что может приводить к резкому снижению их активности [Зимон, 2012; Подкораев, 2014].

Коллоидное серебро «Аджента» производится без каких-либо химических процессов с использованием электромагнитного заряда который суспензирует частицы серебра размерами 5-15 нм (рисунок 23а) в воде с образованием раствора. Поэтому вероятнее всего проявляет значительнее эффект своего действия. Препараты НЧС «КНД-С-К» (6-20 нм), стабилизированные гуммиарабиком, хитозаном и сульфоянтарной кислотой (рисунок 23б), обладают хорошим противомикробным действием, но во многом зависят от физических и химических факторов среды в силу химического метода стабилизации [Крутяков, 2008].

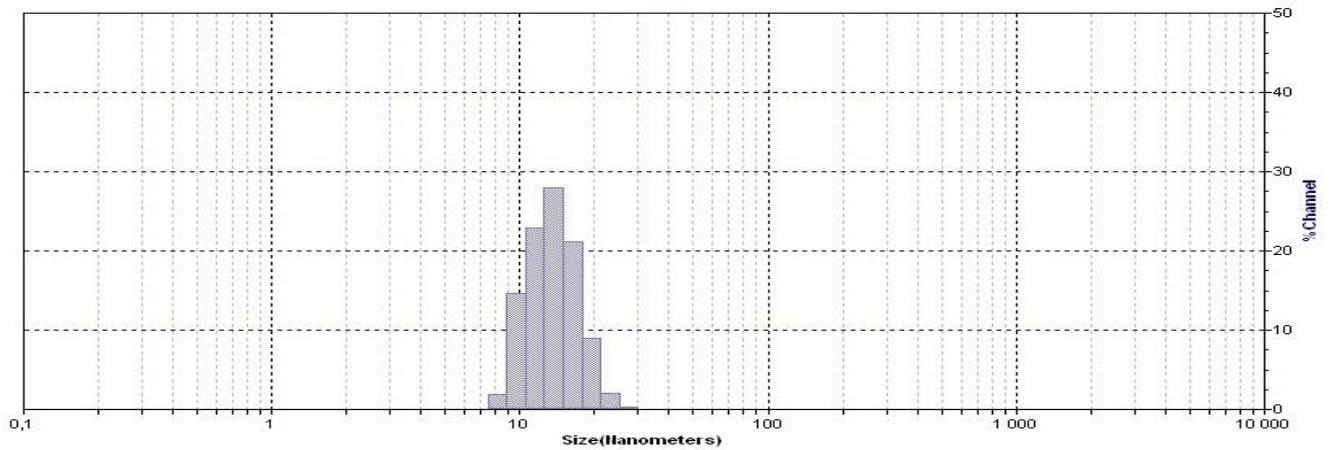


Рисунок 23а – Гистограмма распределения наночастиц по размерам в препарате «Аджента»

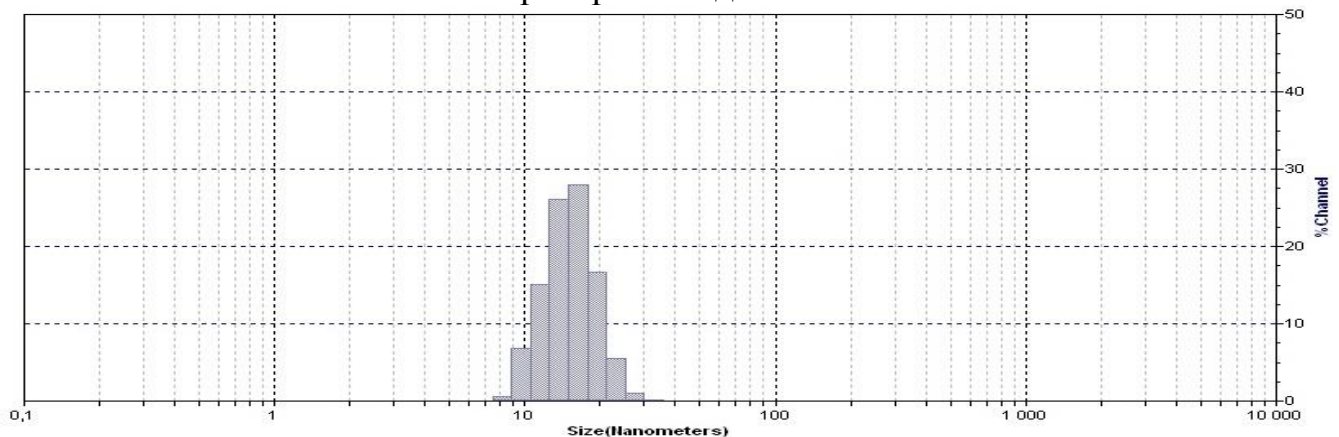


Рисунок 23б – Гистограмма распределения наночастиц по размерам в препарате «КНД-С-К»

Кроме того, как сообщается из литературных данных [Sintubin, 2011; Подкораев, 2014], механизм ингибирования НЧС напрямую связан с их размером (менее 100 нм) и наибольшим соотношением площади поверхности к объему.

На этапе изучения влияния коллоидных растворов НЧС на присутствие бактерии рода *Bacillus subtilis* в обработанном образце пшеницы, результаты проведенного исследования также указывают, что под действием НЧС в обоих выбранных препаратах происходит разрушение бактериальной клетки после 24 ч культивирования. Эффект действия коллоидных растворов в обоих случаях проявлялся уже при концентрации 0,075 г/дм<sup>3</sup>.

Таким образом, внесение в зерновую массу препарата «Коллоидное серебро Аджента» с концентрацией НЧС 0,1 г/дм<sup>3</sup> уже после 24 ч предотвратило развитие микробной контаминации, повышает качество и срок хранения зерна, способствует ингибированию дальнейшего развития спорообразующих форм бактерий рода *Bacillus subtilis*. Обработка зерновой массы препаратом НЧС «КНД-С-К» 0,1 г/дм<sup>3</sup> в течение 24 ч также благоприятно скажется на ингибировании развития бактериальной микрофлоры зерновых культур.

Проведенное исследование показало эффективность действия антибактериальных препаратов нового поколения – наноразмерных дисперсий серебра для пищевой промышленности. Получены новые данные действия препаратов НЧС коллоидной степени дисперсности («Аджента», «КНД-С-К») в зависимости от концентраций в растворе.

Разработаны режимы обработки зерновых культур (пшеницы и ржи). Доказана эффективность применения НЧС против бактериальных микроорганизмов зерновых производств (в частности, против *Bacillus subtilis*), что особенно важно в индустрии питания и хлебопечении. Подробно результаты описаны в [Suvorov, 2017].

#### 4.4 Изучение антимикробной активности препаратов НЧС, приготовленных с использованием пищевых стабилизаторов

Для применения коллоидных растворов серебра требуется найти рабочие концентрации наночастиц, при этом важно учитывать их размер, степень безопасности, технологическую и экономическую целесообразность [Chaudhry, 2011; Yogesha, 2012; Balandin, 2014]. В работе антибактериальная эффективность НЧС определялась на основе минимальной ингибирующей концентрации (МИК) и коэффициента антибактериальной активности ( $K_a$ ), отражающих способность наночастиц диффундировать в твердых средах и воздействовать на микроорганизмы (позволяет оценивать эффективность различных препаратов с одинаковой концентрацией НЧС).

*Коллоидные растворы НЧС.* Для проведения испытаний было выбрано 4 препарата коллоидных растворов НЧС (ООО НПП «Сентоза факторинг НП», Россия). В трех препаратах (G12, G8 и G4) роль стабилизатора выполняет гуммиарабик, а в состав четвертого (H12) входит стабилизирующая добавка хитозан (таблица 12). Перед проведением испытаний все растворы прошли проверку на микробиологическую чистоту.

Таблица 12 – Образцы растворов наночастиц серебра

Название образца	Стабилизатор	Исходная концентрация НЧС в растворе (г/дм <sup>3</sup> )	Количественное соотношение стабилизатора и НЧС	Дополнительные добавки
G4	гуммиарабик	3	4:1	-
G8	гуммиарабик	3	8:1	-
G12	гуммиарабик	3	12:1	глицин
H12	хитозан	3	12:1	уксусная кислота



*Бактериальные микроорганизмы.* Исследование проводилось с чистыми культурами микроорганизмов грамотрицательных бактерий вида *E. coli*, *E. herbicola*, *P. fluorescens* и грамположительных бактерий *S. flava*, *B. subtilis*. Данные виды бактерий культивировались на индикаторной и селективной средах при 37 °С и 28 °С.

Особенности методики определения бактерицидной активности описаны в работе [Подкопаев, 2013]. В чашки Петри заливают стерильную питательную среду и после застывания стерильной пипеткой наносят суспензию микроорганизмов ( $10^6$  КОЕ), тщательно распределяя клетки по поверхности. В вырезанное в центре отверстие диаметром 12 мм вводили изучаемый препарат ( $0,15 \text{ см}^3$ ) с концентрацией НЧС 0,03-0,06 г/дм<sup>3</sup>; чашки выдерживали в термостате в течение двух суток и наблюдения проводили каждые 12 ч. Коэффициент антибактериальной активности  $K_a$ , рассчитывался по формуле:  $K_a = \frac{D_i - d_0}{D_i}$ ,

где  $D_i$  - диаметр зоны, свободной от бактериальной биомассы (зоны ингибирования),  $d_0$  - диаметр отверстия (рисунок 24).

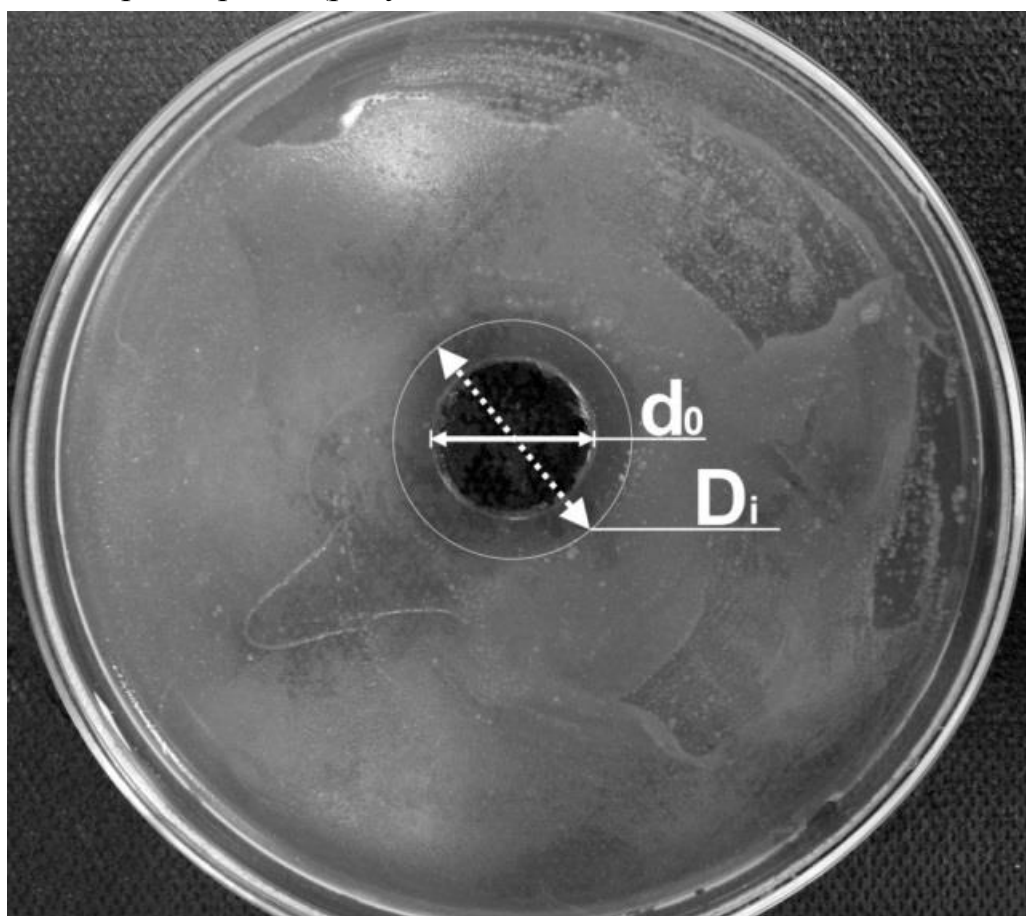


Рисунок 24 – Культивирование *E. coli*

За МИК принимали содержание НЧС во вносимой пробе, обеспечивающее вокруг отверстия через 24 ч свободную от бактериальной биомассы зону (зона ингибирования).

*Статистический анализ.* Тесты на антибактериальную активность каждого препарата проведены 5-10 раз. Оценку значимости различий между полученными результатами осуществляли по t-критериям Стьюдента. *P*-значения ниже 0,05 были приняты значимыми. Значения  $K_a$  ниже 0,073 признаны незначимыми и потому не учитывались при определении МИК.

*Антибактериальная активность наночастиц.* Показано, что коллоидные растворы НЧС обладали антимикробным эффектом на *E. herbicola*, *P. fluorescens*, *S. flava*, *B. subtilis*, *E. coli*. Зоны ингибирования выявлялись через 12 ч и в течение 48 ч их размеры не изменялись.

На основании полученных результатов были рассчитаны средние значения  $K_a$  препаратов НЧС и построены диаграммы, отражающие влияние концентрации НЧС в препарате на  $K_a$  для ряда бактерий (рисунки 25-26).

Как видно из диаграмм, наиболее ярко выраженным бактерицидным действием обладал препарат на основе гуммиарабика G12. Это единственный из четырех препаратов, способный ингибировать рост всех опытных культур микроорганизмов в диапазоне исследуемых концентраций. При этом наименьшее воздействие G12 оказывал на *S. flava*, где при концентрации НЧС 0,06 г/дм<sup>3</sup>  $K_a$  в среднем был на 60 % ниже, чем в экспериментах с другими культурами при аналогичной концентрации.

Препарат H12 на основе хитозана не оказывал какого-либо значительного воздействия на изучаемые микроорганизмы. Препарат G8 на основе гуммиарабика в пределах исследуемых концентраций ингибировал рост *E. herbicola* и *B. subtilis*. Препарат на основе гуммиарабика G4 ингибировал рост *B. subtilis*, значимое бактерицидное действие этого препарата на другие штаммы микроорганизмов установлено не было.

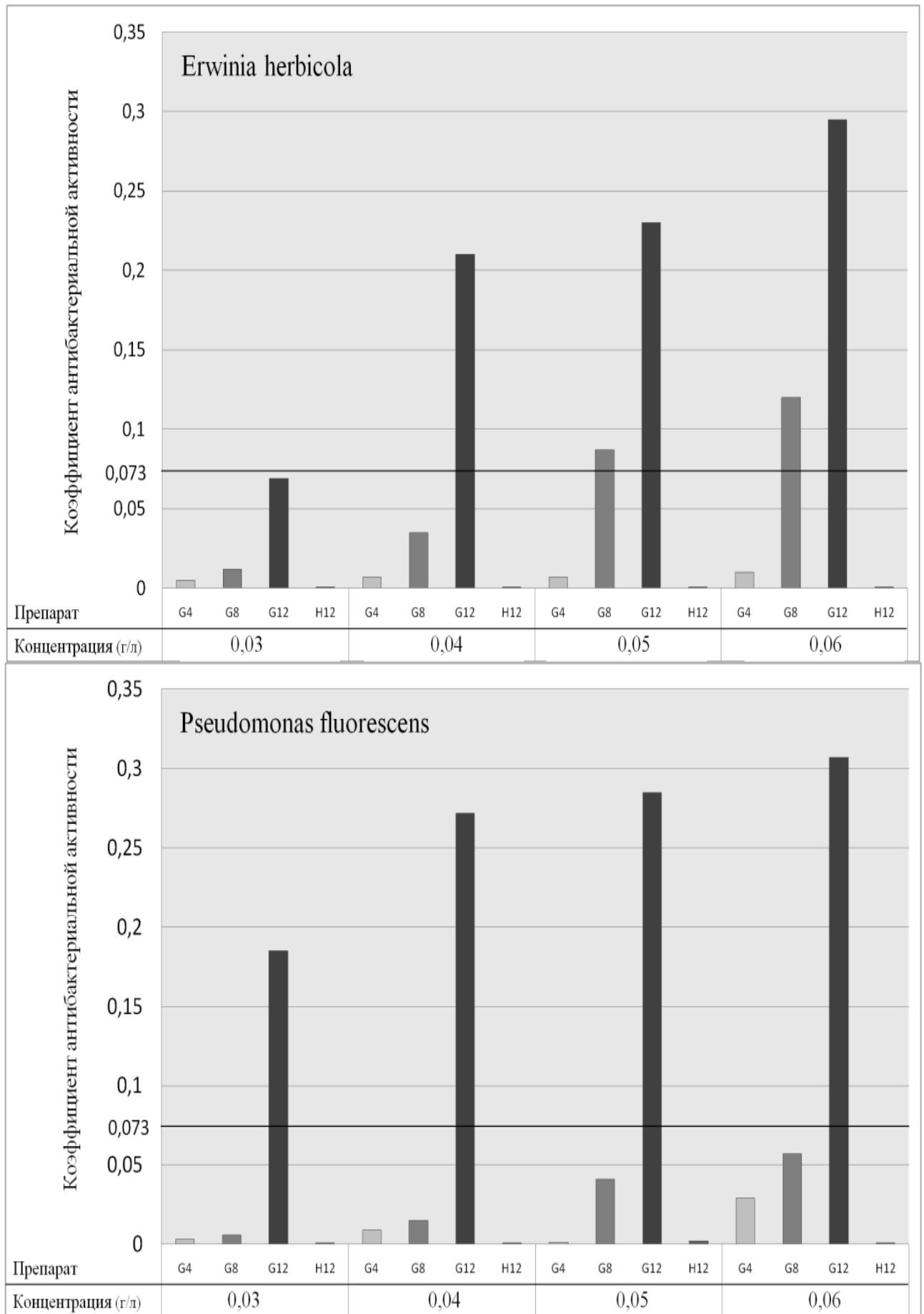


Рисунок 25 – Коэффициент антибактериальной активности для грамотрицательных бактерий *Erwinia herbicola* и *Pseudomonas fluorescens*

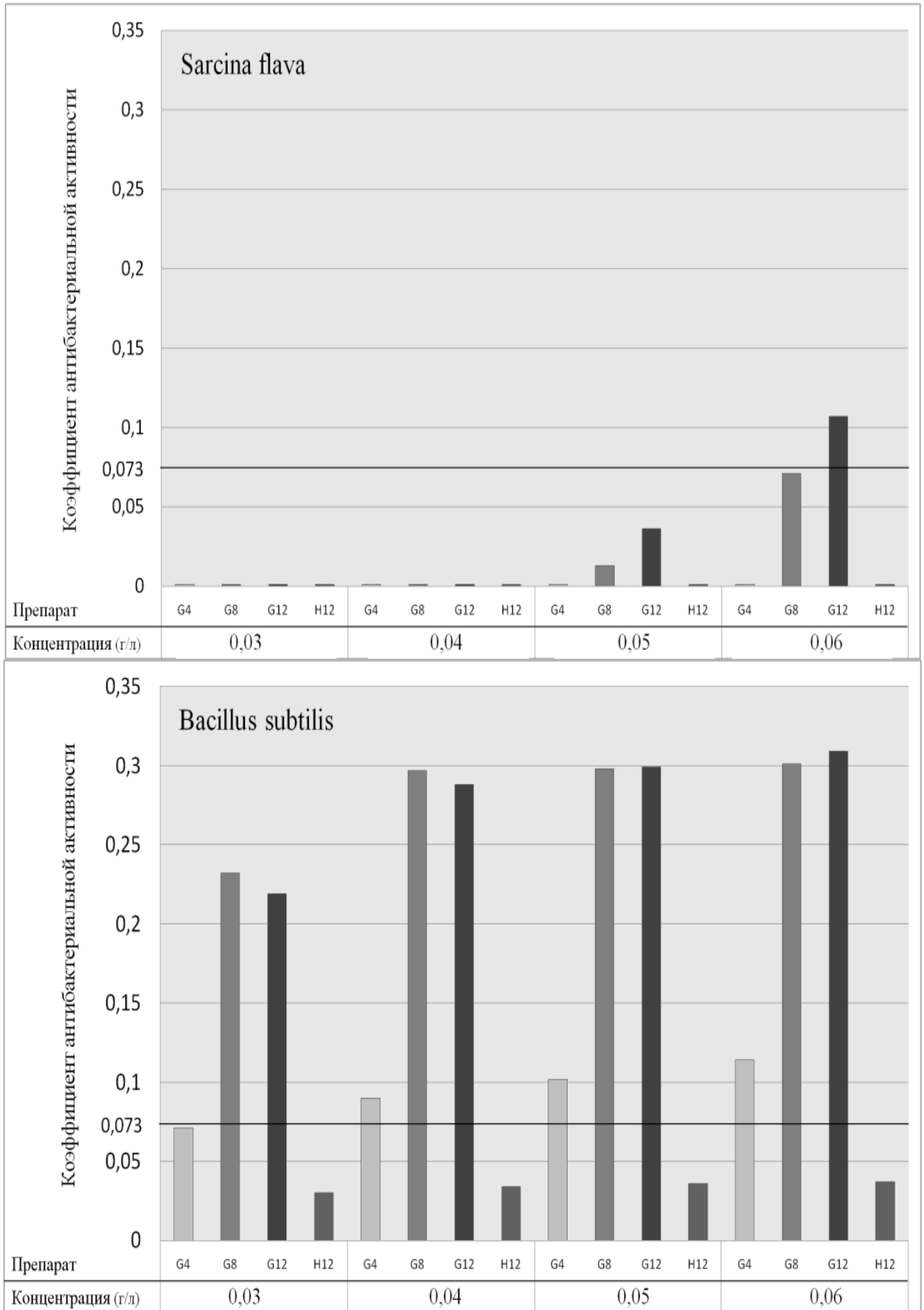


Рисунок 26 – Коэффициент антибактериальной активности для грамположительных бактерий *Sarcina flava* и *Bacillus subtilis*

*Определение МИК.* Минимальные концентрации коллоидных растворов НЧС, ингибирующие рост бактериальных микроорганизмов, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Минимальные ингибирующие концентрации препаратов НЧС

Культура микроорганизма	МИК препаратов НЧС (г/дм <sup>3</sup> )			
	G4	G8	G12	H12
<i>E. herbicola</i>	> 0,06	0,05	0,04	> 0,06
<i>P. fluorescens</i>	> 0,06	> 0,06	0,03	> 0,06
<i>S. flava</i>	> 0,06	> 0,06	0,06	> 0,06
<i>B. subtilis</i>	0,04	0,03	0,03	> 0,06

Рост культуры *E. herbicola* ингибировался препаратами G8 и G12 при минимальной концентрации наночастиц 0,05 и 0,04 г/дм<sup>3</sup>, соответственно. МИК для *P. fluorescens* была определена только у G12 и составила 0,03 г/дм<sup>3</sup>. Все препараты на основе гуммиарабика оказывали сильное антибактериальное действие на культуру *B. subtilis* (грамположительная палочковидная бактерия) при минимальной концентрации наночастиц в пределах 0,03-0,04 г/дм<sup>3</sup>. МИК при воздействии препаратов НЧС в заданном диапазоне концентраций на культуру *S. flava* удалось установить для G12, где она составила 0,06 г/дм<sup>3</sup>.

Показано, что коллоидные растворы НЧС, стабилизированные гуммиарабиком, обладали более высокой антибактериальной активностью, чем раствор, содержащий хитозан. Такие результаты можно объяснить влиянием рН среды на стабильность коллоидной системы препарата. Используемые в процессе экспериментов элективные и индикаторные питательные среды Эндо и МПА имеют рН от 7,2 до 7,4.

В работе [Подкопаев, 2013] показано, что в средах с рН 6,5-10 формируются нецентросимметричные агрегаты НЧ, стабилизированные хитозаном. Площадь поверхности коллоидных частиц и бактерицидная активность наночастиц уменьшаются [Petica, 2008]. В то же время аминокислоты гуммиарабика при нейтральном рН в меньшей степени подвержены нейтрализации [Wheelis, 2008], что позволяет коллоидным растворам наночастиц сохранять стабильность в нейтральных средах.

Определено, что повышение содержания гуммиарабика в препаратах G4, G8 и G12 увеличивает их антибактериальную активность. Так, препарат G12 наиболее эффективно подавлял рост бактериальных микроорганизмов в заданном диапазоне концентраций. Это может объясняться тем, что при увеличении концентрации гуммиарабика в коллоидном растворе повышается количество гуммиарабика, абсорбируемого на поверхности наночастиц путем образования нековалентных связей между негативно заряженными карбоксильными группами гуммиарабика и положительно заряженными НЧС [Guzman, 2012]. Такие результаты соответствуют данным, полученным [Raffi, 2008] при изучении способа стабилизации НЧС, используя гидрогель на основе гуммиарабика.

Известно, что не удастся выявить существенных различий по степени бактерицидного воздействия НЧС на грамотрицательные (*E. coli*, *P. aeruginosa*) и грамположительные (*Streptococcus pyogenes*) микроорганизмы. Стоит учесть, что бактерии рода *Streptococcus*, как и другие использованные микроорганизмы, в пространстве формируют цепочки клеток, что совершенно не ограничивает доступ НЧС к поверхности стенок клеток. В исследованиях [Zhang, 2011; Yogesha, 2012] выявлено, что строение клеточной стенки не влияет на способность НЧС подавлять рост микроорганизмов. Однако МИК НЧС для *S. aureus* превышает МИК для *E. coli* и *P. aeruginosa*.

Таким образом, доступ НЧС к поверхности микроорганизмов снижается в структурах типа «куб» (*S. flava*) или «виноградная гроздь» (*S. aureus*), что уменьшает антибактериальную эффективность НЧС и повышает значение МИК. Повышение эффективности НЧС может обеспечиваться разрушением структурных формирований бактериальных клеток.

Коллоидные растворы НЧС также обладали антимикробным действием на бактерии, мицелиальные грибы и дрожжи. Степень эффекта зависит от размера частиц, стабилизаторов, концентрации. НЧС характеризуются разной эффективностью по отношению к различным видам микроорганизмов; значения МИК НЧС для каждого вида различаются. Грибы более резистентны к НЧС, чем бактерии в связи с существенными различиями в структуре клеточной мембраны. Это позво-

ляет отобрать рабочий диапазон концентраций, в котором НЧС ингибируют рост бактерий и не влияют на грибные микроорганизмы [Зимон, 2012; Подкопаев, 2013; Petica, 2008; Mikhienkova, 2011; Yogesha, 2012].

В работе использовали чистые культуры грамотрицательных бактерий *Escherichia coli*, *Erwinia herbicola*, *Pseudomonas fluorescens*, грамположительных бактерий *Sarcina flava* и *Bacillus subtilis*, а также грибов *Aspergillus niger*, *Penicillium candidum*, *Rhizopus oryzae* и *Saccharomyces cerevisiae*. Для определения МИК грибные и бактериальные культуры одновременно выращивались на питательных средах агара с различными концентрациями НЧС. Были применены коллоидные растворы НЧС (10-15 нм), полученные химическим восстановлением водорастворимой соли серебра с помощью аскорбата или цитрата натрия и последующего добавления пищевых стабилизаторов (гуммиарабик или хитозан).

Показано, что растворы НЧС ингибируют рост изучаемых видов бактерий при концентрациях 0,03-0,06 г/дм<sup>3</sup>, а значения МИК для грибных микроорганизмов находились в диапазоне 0,09-0,14 г/дм<sup>3</sup> (рисунок 27).

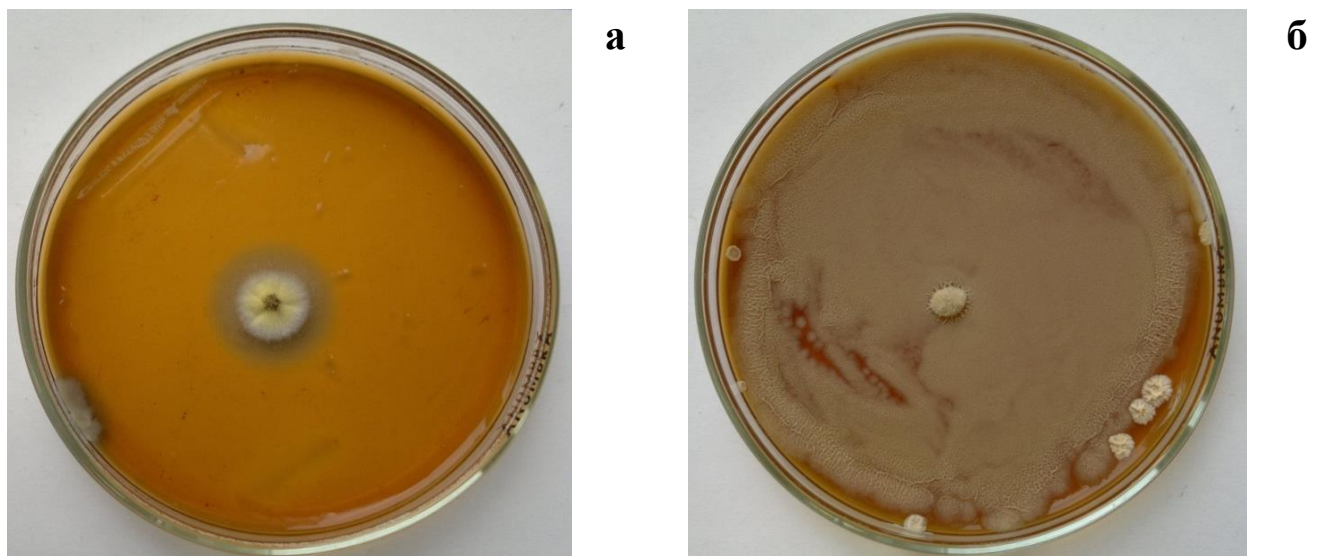


Рисунок 27 – *Aspergillus niger* и *Bacillus subtilis* через 48 ч культивирования в среде с добавлением (а) и без добавления (б) НЧС

Таким образом, в работе выявлено антимикробное действие коллоидных растворов НЧС в отношении изученных видов бактерий и грибов. Определены значения МИК, позволяющие применять коллоидные растворы НЧС в качестве бактерицидных агентов при культивировании грибных микроорганизмов - проду-

центров биологически активных веществ. Например, при биосинтезе лимонной и глюконовой кислот микромицетом *Aspergillus niger* [Руденко, 2012; Павлова, 2013; Прахова, 2014; Femi-Ola, 2013].

#### 4.5 Оценка эффективности использования наноматериалов с биоцидными свойствами в хлебопечении

Исследования проведены с применением современных научных методологий, таких как разработка наноматериалов, исследование их свойств методами атомно-силовой микроскопии, динамического лазерного светорассеяния, атомно-абсорбционного спектрального анализа. Проведена оценка эффективности упаковочных материалов с биоцидными свойствами на основе НЧС при их использования в хлебопечении [МУ 1.2.2637-10; Сумелиди, 2016].

В настоящем исследовании использовали наноматериалы для создания упаковочных материалов с бактерицидными свойствами в хлебопечении. Значения реологических показателей мякиша ржано-пшеничного хлеба из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности в зависимости от типа упаковочного материала при различной продолжительности их криохранения приведены в таблице 14. 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 упаковку с нанесенным раствором НЧС «Арговит». Определено, что данный вид упаковочного материала хорошо сохраняет свежесть замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности и замедляет процесс черствения.



Таблица 14 – Деформация Н (общая, упругая, пластическая) мякиша хлеба из замороженных полуфабрикатов при использовании различных упаковочных материалов

Криохрани- нение, сут	7			14			30			90			180		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Материал*	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
H <sub>общ</sub> , мм	4,1	4,3	4,7	4,0	2,8	4,5	3,6	2,6	4,3	3,7	2,5	3,9	3,5	2,4	3,6
H <sub>упр</sub> , мм	2,0	1,9	3,1	2,1	1,5	2,6	1,8	1,5	2,0	1,7	1,2	1,6	1,5	1,2	1,6
H <sub>пл</sub> , мм	2,1	2,4	1,6	1,9	1,3	1,9	1,8	1,1	2,3	2,0	1,3	2,3	2,0	1,2	2,0
Относи- тельная упругость, %	50	47	66	52	55	58	50	58	47	47	47	41	43	50	45
Относи- тельная пластич- ность, %	50	43	34	48	45	42	50	42	53	53	53	59	57	50	55
* Материал упаковочный: 1 – пленка пищевая полиэтиленовая «Paclan»; 2 – полиэтиленовые пакеты для замораживания «Prolang» увеличенной толщины; 3 – полиэтиленовая упаковка с нанесением НЧС (препарат «Арговит»).															

Наибольшее снижение значения показателя общей деформации мякиша ржано-пшеничного хлеба, приготовленного из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности, наблюдалось у проб хлеба, упакованных в полиэтиленовые пакеты для замораживания (от 4,3 мм до 2,4 мм). При криохранении в течение 2 недель уже наблюдалось резкое снижение данного показателя до 2,8 мм. Полученные данные свидетельствовали о том, что вид упаковочного материала существенно не изменял влажность и пористость хлеба, приготовленного из замороженных полуфабрикатов высокой степени готовности при продолжительности криохранения до 180 сут. Влажность всех образцов находилась в пределах 47,0-48,4 %, пористость - 64,6-65,5 %. На основании полученных результатов можно сделать заключение о том, что для долгосрочного криохранения полуфабрикатов целесообразно использовать в качестве упаковочного материала полиэтиленовую упаковку с нанесением раствора НЧС «Арговит».

На следующем этапе была изучена возможность применения различных концентраций НЧС для контроля качества продукции, в том числе в случае пере-

хода НЧС с упаковки в готовый продукт, в частности при подавлении развития «картофельной болезни» в пшеничных изделиях. Проанализирована возможность внесения биологически активной добавки к пище «Коллоидное серебро Аджента» (СГР RU.77.99.11.003.E.007989.05.12, экспертное заключение ФГБУ «НИИ питания» РАМН №72/Э-295/б-12 от 12.04.2012 г., производитель ООО «Королев-Фарм» (Россия), получатель ООО «НПП Сентоза Факторинг НП» (Россия)). Тесто готовили по традиционной рецептуре (таблица 15).

Таблица 15 – Рецептура приготовления теста

Наименование сырья	Количество вносимого сырья, г
Пшеница измельченная	80
Сыворотка молочная – сырье	30
Дрожжи хлебопекарные сухие	3
Соль пищевая	0,5
Сахар белый	5

Технологическая схема булочки «Цельнозерновая» приведена на рисунке 28.

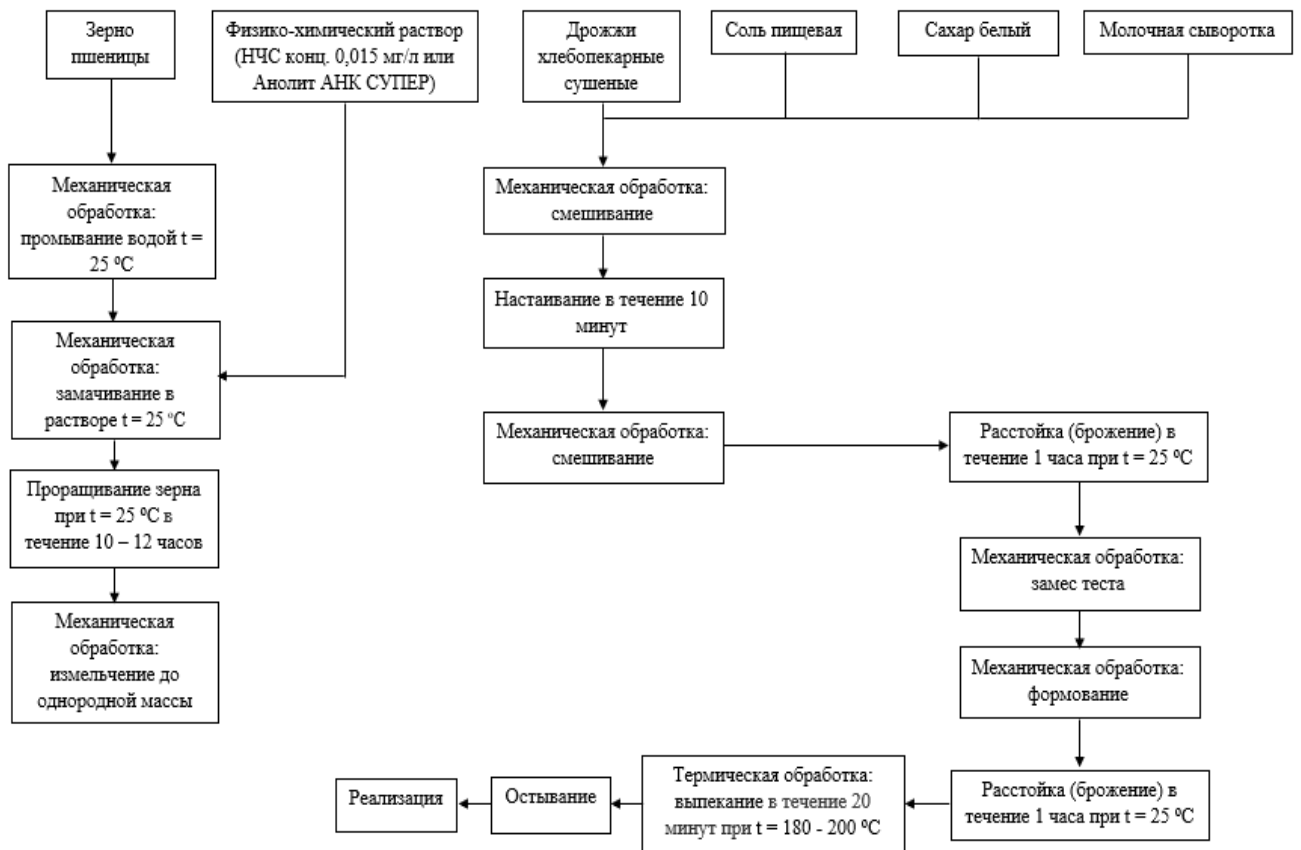


Рисунок 28 – Технологическая схема булочки «Цельнозерновая»

Диапазон концентрации НЧС (0,015-0,05 мг/дм<sup>3</sup>) соответствовал регламентирующим нормам СанПиН 2.1.4.1074-01 и руководства ВОЗ для контроля качества воды, где определен максимальный уровень потребления серебра, не вызывающий обнаруживаемого вредного влияния на здоровье человека в течение 70 лет (уровень NOAEL - No Observable Adverse Effect Level), равный 10 г. Эта величина и является основанием для рекомендаций по толерантному содержанию серебра в питьевой воде - 0,1 мг/дм<sup>3</sup>. Такая концентрация за 70 лет даст половину уровня NOAEL, что заведомо безопасно для здоровья.

Микробиологическое исследование тестируемого зерна (ОМЧ, БГКП) проводили в Липецкой испытательной лаборатории ФГБУ ЦНМВЛ РОССЕЛЬХОЗНАДЗОРА, аттестат аккредитации № RA.RU.21ВЛ.03 (протоколы испытаний № 166ЛЛ от 02.06.2017, № 167ЛЛ от 02.06.2017). Качество зерна оценивали по ГОСТ Р 9353-2016, показатели приведены в таблице 16.

Таблица 16 – Показатели качества используемого сырья

Наименование показателя	Характеристика/значение	Значение нормативного документа
Типовой состав	Пшеница мягкая яровая белозерная, Соответствует III сорту	
Состояние	В здоровом негреющимся состоянии	В здоровом негреющимся состоянии
Цвет	Желтовато-кремовый	Свойственный зерну данного типа, допускается первая и вторая степени обесцвеченности
Запах	Свойственный здоровому зерну пшеницы, без плесневелого, затхлого и других посторонних запахов	Свойственный здоровому зерну пшеницы, без плесневелого, затхлого и других посторонних запахов
Массовая доля сырой клейковины, %, не менее	28,5	23,0
Стекловидность, %, не менее	60	40
Влажность, %, не более	12,9	14,0
Сорная примесь, %, не более	1,2	2,0
Зараженность вредителями	Не обнаружено	Не допускается

Показано, что органолептические и физико-химические показатели полностью соответствовали нормам, ОМЧ составило  $1,7 \cdot 10^5$  КОЕ/г, БГКП были обнаружены. Установлено заражение исследуемого зерна возбудителями «картофельной болезни» хлеба.

В лаборатории МГУПП был проведен анализ препарата НЧС - биологически активной добавки к пище. Оценка раствора НЧС производилась на лазерном анализаторе Zetatrac Microtrac (США). Полученные результаты - рН 6,54; дзета-потенциал 25,4 мВ; размер частиц 1,13-1,34 нм; молекулярная масса частиц 8,7-13,0%. Выяснено, что исследуемый раствор НЧС был недостаточно устойчив (дзета-потенциал 25,4 мВ) и в нем присутствуют два типа различных наночастиц в небольших концентрациях. Полученные данные приведены на рисунке 29.

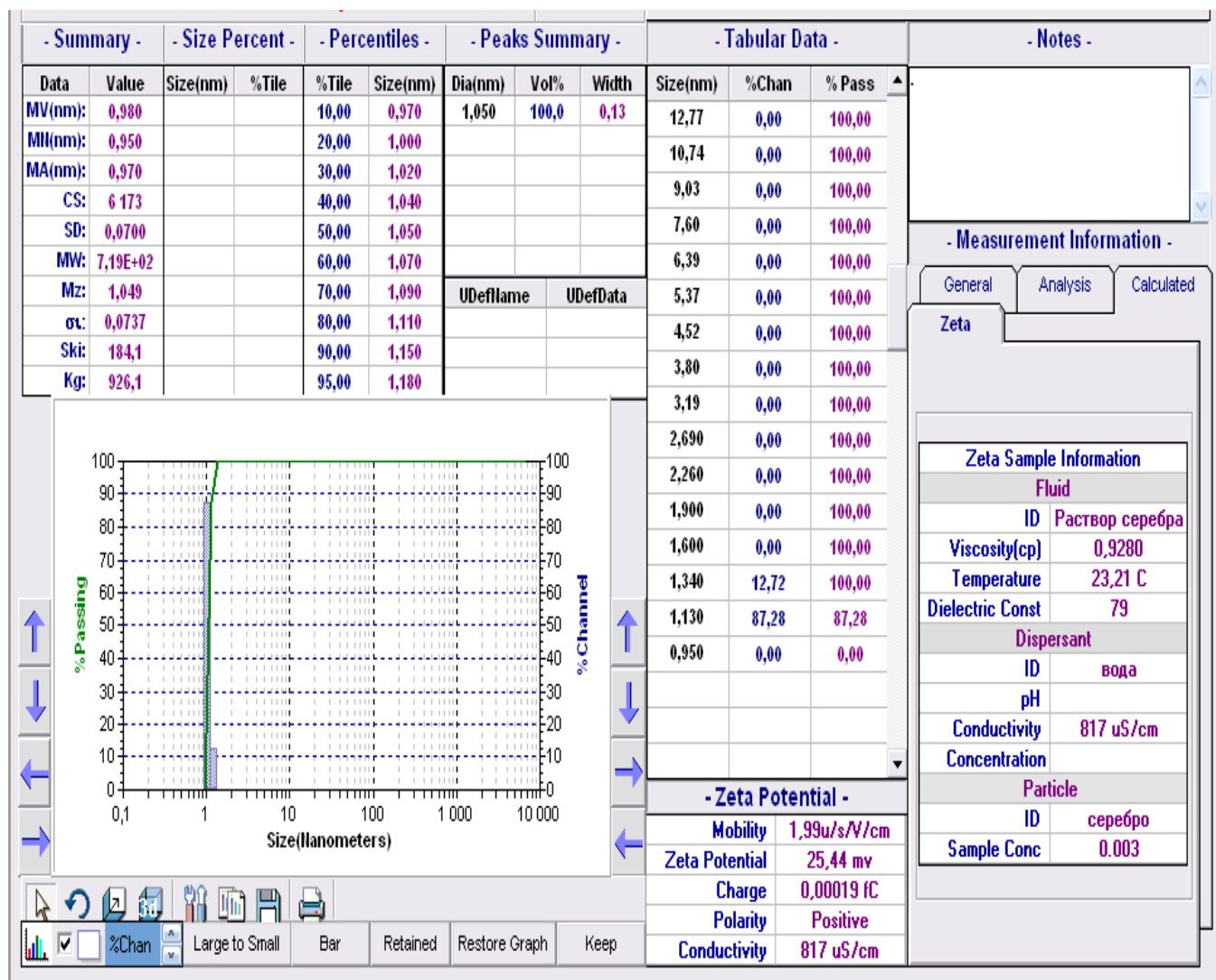


Рисунок 29 – Показатели исследования опытных растворов, полученные с помощью программного обеспечения Microtrac FLEX

Перечень опытных образцов булочек из цельнозерновой пшеничной муки, инфицированных *Bacillus subtilis* и обработанных НЧС или анолитом, представлены в таблице 17.

Таблица 17 – Опытные образцы из цельнозерновой пшеничной муки, инфицированные *Bacillus subtilis* и обработанные НЧС или анолитом

№	Наименование образца
1	Контрольный
2	<i>Bacillus subtilis</i> + НЧС с концентрацией 0,015 мг/дм <sup>3</sup>
3	<i>Bacillus subtilis</i> + НЧС с концентрацией 0,03 мг/дм <sup>3</sup>
4	<i>Bacillus subtilis</i> + НЧС с концентрацией 0,05 мг/дм <sup>3</sup>
5	<i>Bacillus subtilis</i> + Анолит с концентрацией оксидантов 450 мг/дм <sup>3</sup> (соединения хлора, в пересчете на активный хлор - 0,045 % по АХ)

Данные анализа ОМЧ (рисунок 30) свидетельствуют, что контаминация образцов, обработанных НЧС или анолитом, была меньше, чем в контроле.

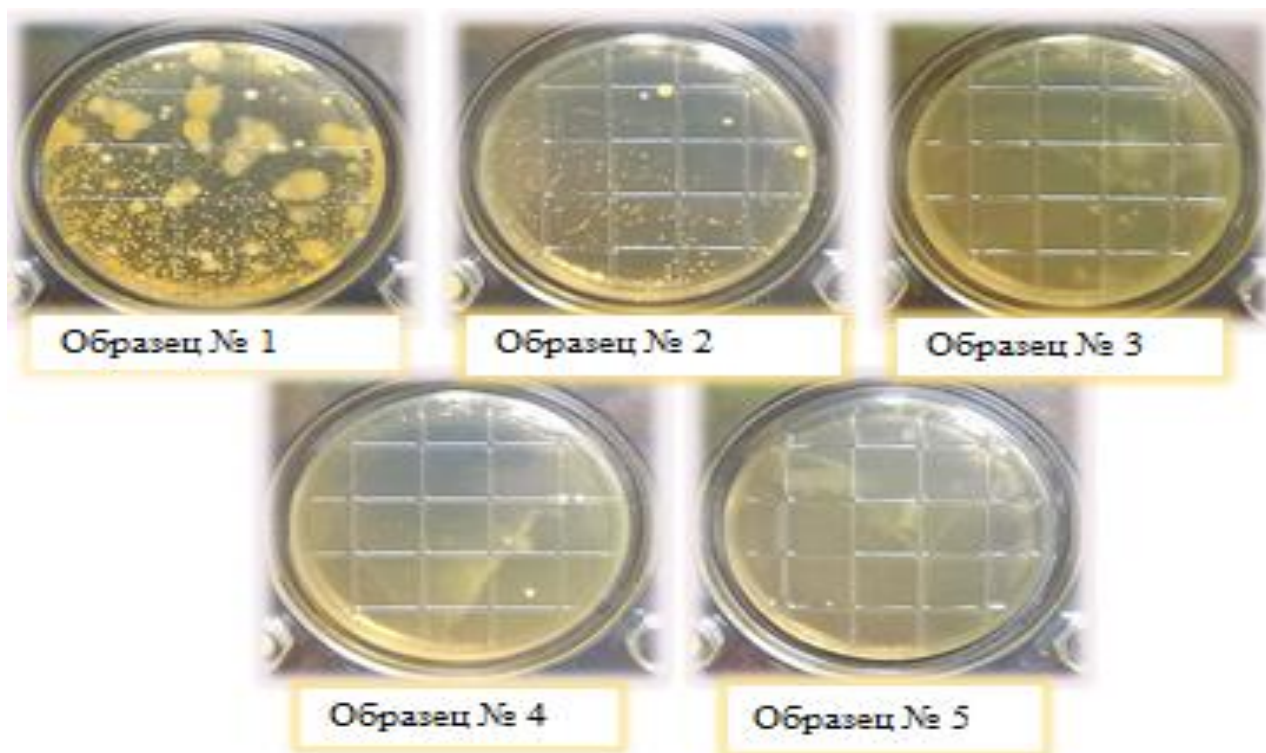


Рисунок 30 – Анализ ОМЧ опытных образцов

Показано, что образец № 1 характеризовался высокой степенью наличия микроорганизмов. В образцах № 2, № 3 и № 4 выявлена антибактериальная активность раствора НЧС. В дальнейших исследованиях использовали рабочую

концентрацию НЧС, равную 0,015 мг/дм<sup>3</sup>. Показано, что обсемененность образцов уменьшается с повышением концентраций НЧС. Эффективность анолита (№ 5) для снижения ОМЧ подтвердилась.

Для оценки исследуемых образцов на наличие БГКП использовались экспресс-тесты - результат отрицательный: цвет среды с фиолетового на желтый не изменился (рисунок 31).

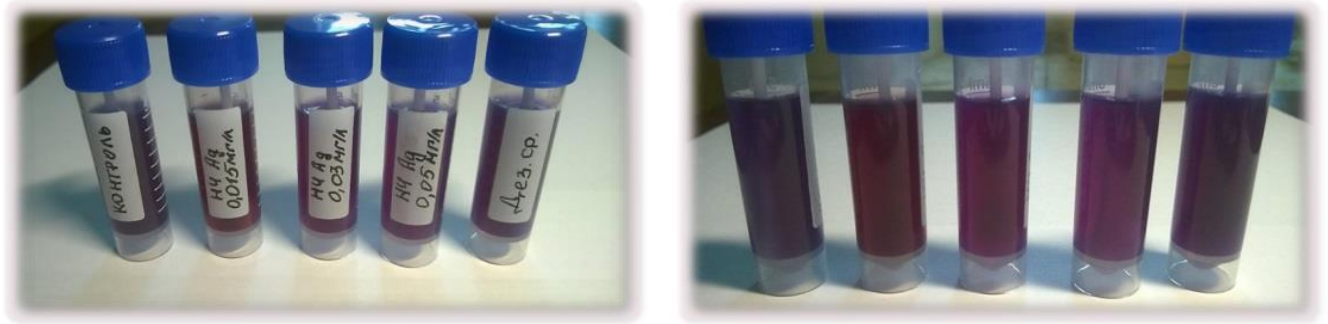


Рисунок 31 – Экспресс-тест на наличие БГКП

Для объективизации рекомендаций по внедрению изучаемой формы хлебо-булочных изделий в торговую сеть был проведен анализ потребительских предпочтений (51 человек, мужчины (58,8 %) и женщины (41,2 %) от 15 до 66 лет).

Полученные данные приведены на рисунках 32-35.

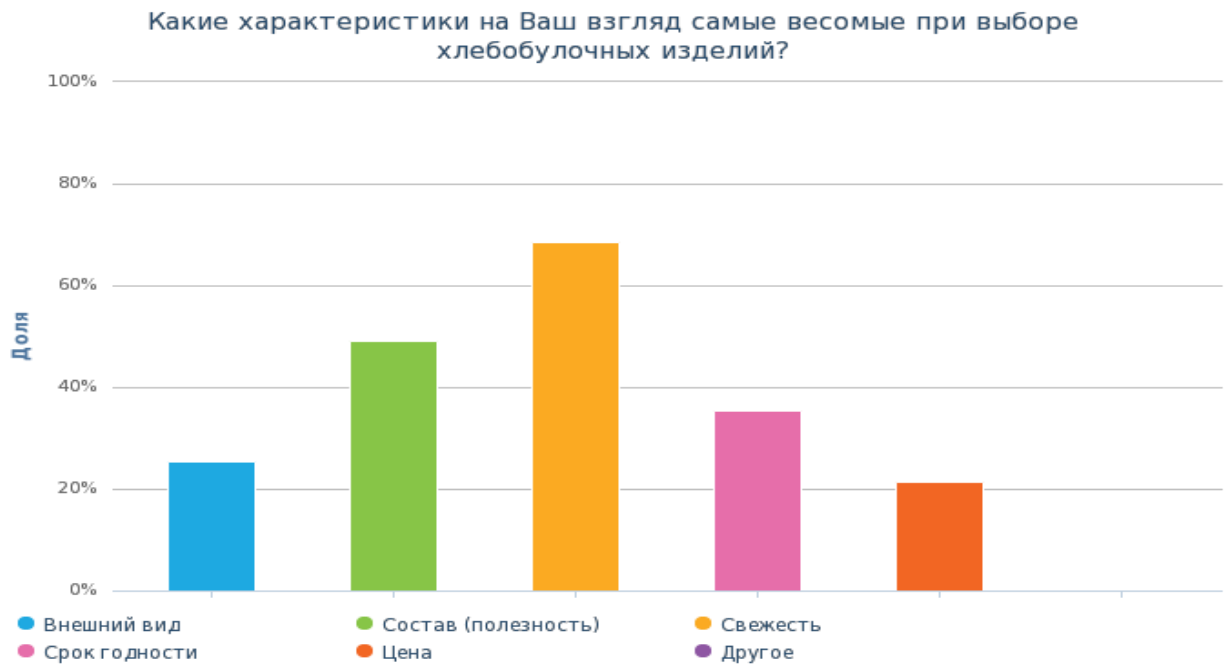


Рисунок 32 – Выбор наиболее весомых характеристик при покупке продукта

Среди участников опроса 68,6 % респондентов считали наиболее важным критерием выбора хлебобулочного изделия – его свежесть, 49 % – состав изделия, 35,3 % – срок годности продукта.

При анкетировании было выявлено, что большинство опрошенных (60 %) выбирают изделия из пшеничной муки. Данные приведены на рисунке 33.

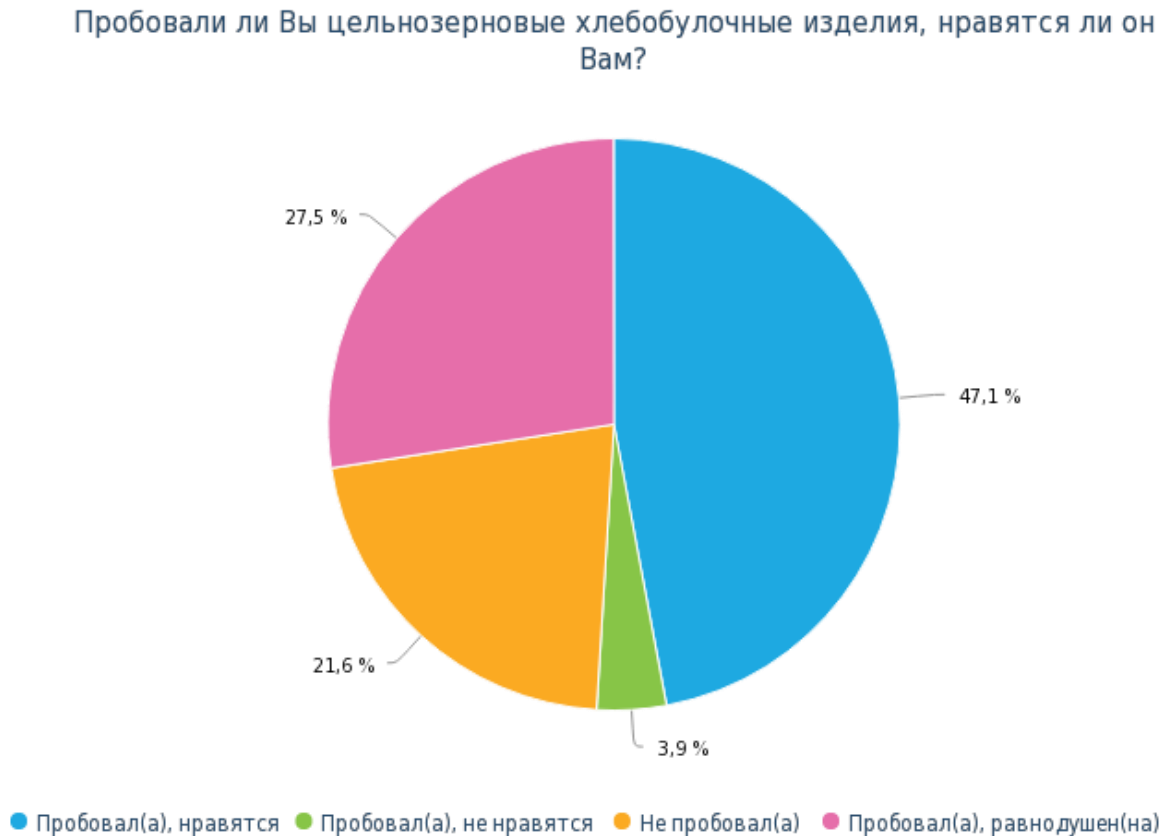


Рисунок 33 – Отношение респондентов к цельнозерновым хлебобулочным изделиям

Только 25,7 % предпочитают остальным изделия из цельнозернового сырья. Однако большинство опрошиваемых все же пробовали цельнозерновые хлебобулочные изделия, и они им понравились.

При анкетировании также был задан вопрос о том, что думают потребители о содержании полезных веществ в хлебобулочных изделиях. Процентное соотношение ответов можно наблюдать на рисунке 34. Большое количество людей затруднились дать ответ на данный вопрос или считают, что эти изделия малополезны (45,1 % и 21,6 %, соответственно). Лишь 33,3 % думали, что данная продукция содержит достаточно много полезных веществ.

Много ли на Ваш взгляд содержится полезных веществ в хлебобулочной продукции?

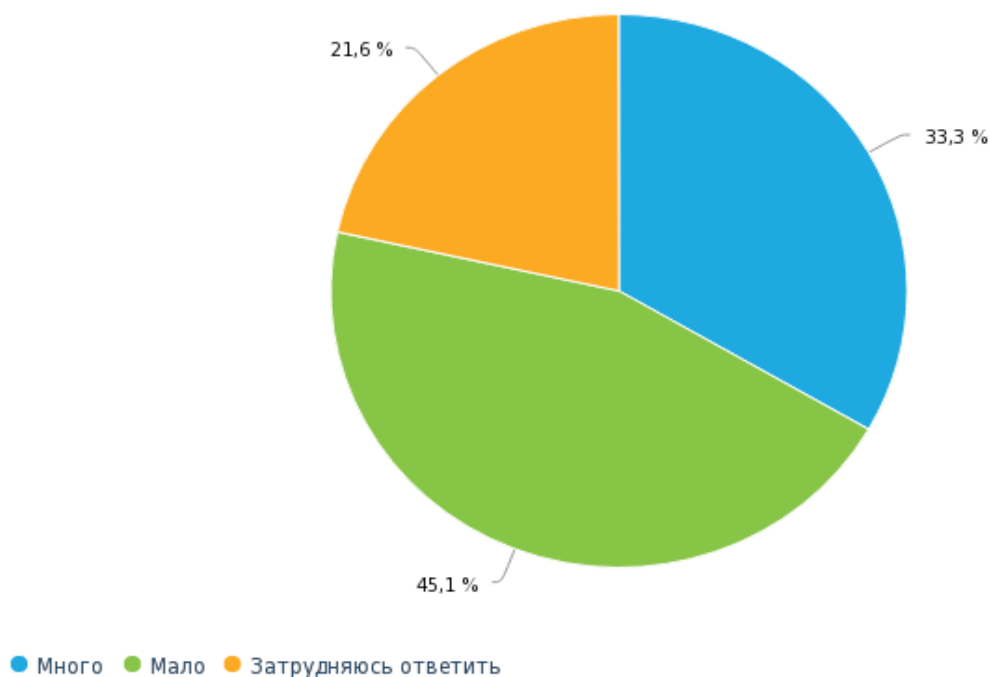


Рисунок 34 – Мнение участников опроса о пользе хлебобулочных изделий

Кроме того, было установлено, что многие участники анкетирования ориентируются на ценовой показатель при покупке хлебобулочных изделий. При проведении опроса выяснялось, готовы ли потребители платить больше обычного за более вкусный и полезный хлеб. 60,8 % ответили положительно, 19,6 % отрицательно.

Цена на какой-либо продукт обуславливает и включает большое количество факторов. Иногда обеспечение качества и безопасности требует бóльших затрат, поэтому при опросе было важно выяснить, готовы ли люди платить больше за продукт, который будет превосходить по некоторым характеристикам обычные изделия. Результаты опроса проиллюстрированы на рисунке 35.



Готовы ли Вы платить больше, если хлебобулочные изделия будут качественнее и полезнее?

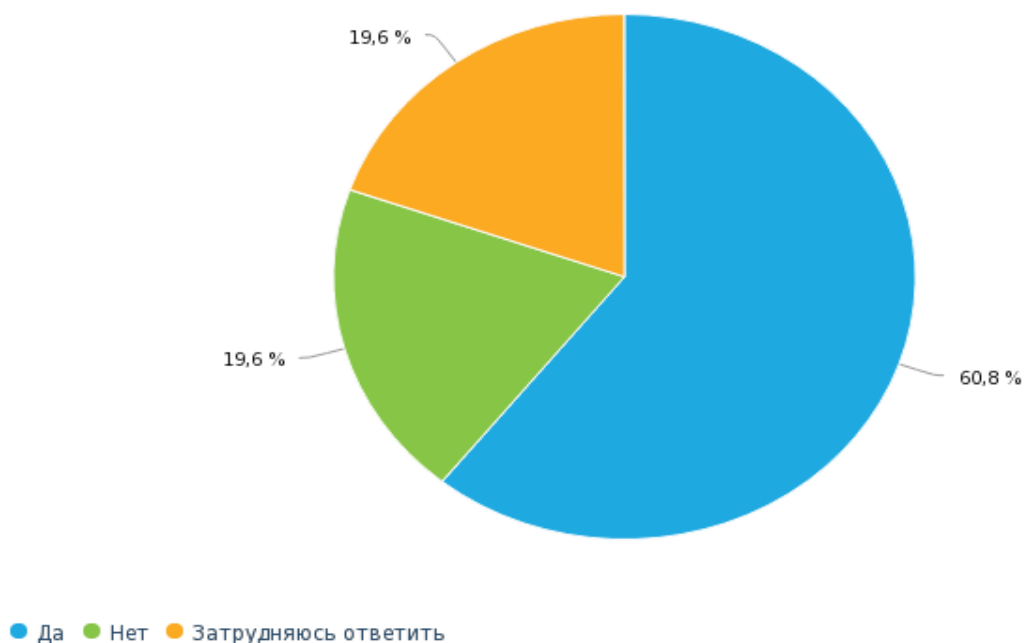


Рисунок 35 – Готовность потребителя платить больше за продукт, который будет качественнее и полезнее обычного

В ходе проделанной работы было выяснено, что современный потребитель хочет видеть не просто продукт питания, а продукт с улучшенными потребительскими свойствами. Следует также отметить, что изделия на основе цельного зерна пшеницы выпускает ограниченное количество предприятий общественного питания, что свидетельствует о перспективах выхода на новые рынки сбыта и увеличении доли собственной продукции на существующих рынках за счет завоевания доверия потребителей.

На следующем этапе работы для сравнения были выбраны два образца – контрольный и опытный из зерна, обработанного ЭХАР и характеризующегося наименьшей обсемененностью. На хлебобулочные изделия был составлен балльный метод органолептической оценки.

Для оценки качества образцов цельнозерновых булочек была разработана дифференцированная 100-балльная шкала. Значимости показателей качества хлеба определяется их коэффициенты весомости (сумма равна 20), а общая балльная оценка - суммированием произведений баллов (5-балльная шкала) на соответ-

ствующий коэффициент весомости. Данные об органолептической оценке булочек «Цельнозерновых» приведены в таблицах ниже.

Таблица 18 – Органолептическая оценка контрольного образца

Показатели качества	Оценка, балл	Булочка «Цельнозерновая» (контрольный образец)	
		Коэффициент весомости	Оценка в баллах с учетом коэффициента весомости
Форма	2	3	6
Цвет корки	3	3	9
Поверхность	4	3	12
Состояние мякиша	3	4	12
Пористость	3	3	9
Запах	4	4	16

Таблица 19 – Органолептическая оценка опытного образца, приготовленного с использованием анолита

Показатели качества	Оценка, балл	Булочка «Цельнозерновая» (образец с анолитом)	
		Коэффициент весомости	Оценка в баллах с учетом коэффициента весомости
Форма	4	3	12
Цвет корки	5	3	15
Поверхность	4	3	12
Состояние мякиша	4	4	16
Пористость	4	3	12
Запах	5	4	20

По выставленным оценкам по 5-балльной шкале построена диаграмма в соответствии с основными анализируемыми показателями для наглядной сравнительной характеристики изделий (рисунок 36).

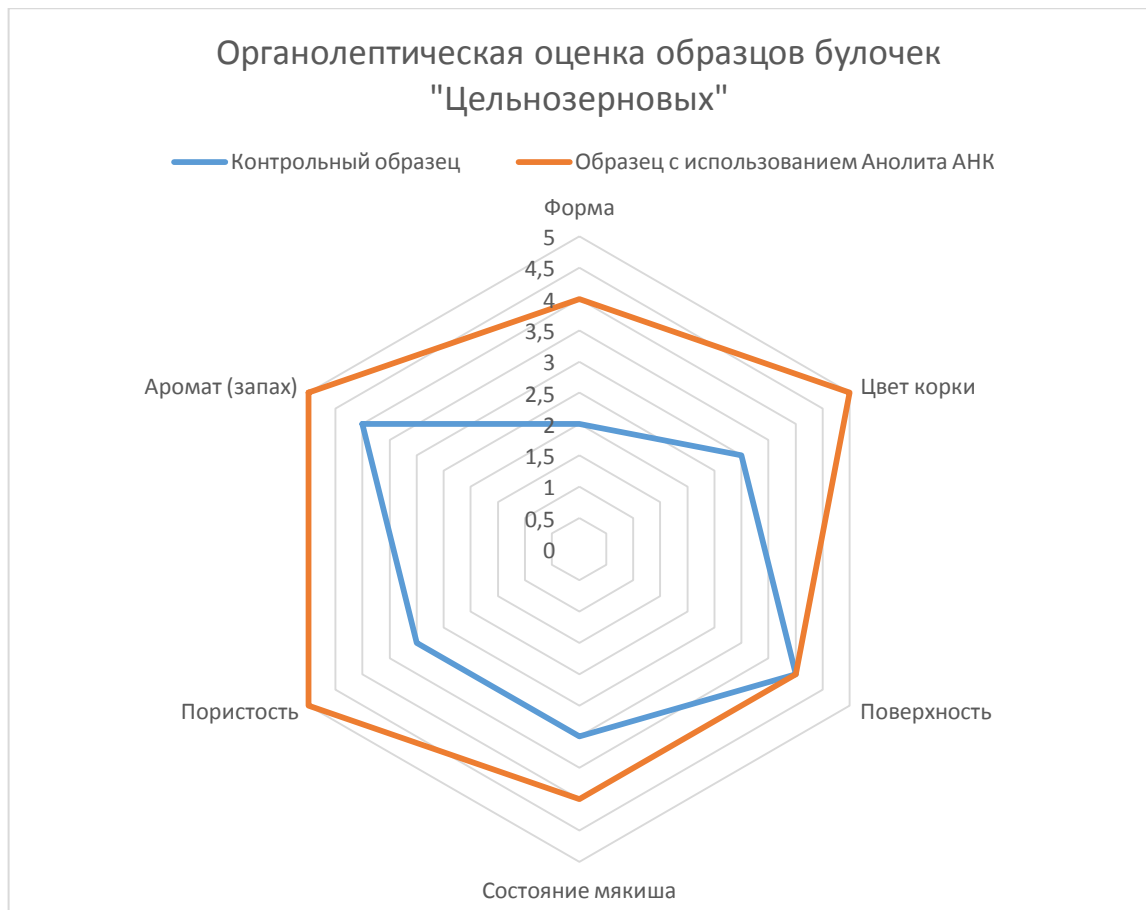


Рисунок 36 – Органолептические показатели исследуемых образцов хлебобулочных изделий

По 100-бальной шкале общая оценка контрольного образца составила 64 балла, что соответствовало диапазону категории качества «хорошо». Образец из зерна, обработанного анолитом был оценен в 87 баллов, что относилось к категории качества «отлично».

Далее был проведен анализ рисков технологических процессов при производстве булочки «Цельнозерновая». Виды опасностей принято делить на 4 категории: физические (Ф) - металл, стекло, твердый пластик, ювелирные изделия, деревянные щепки, земля и др.; химические (Х) - остатки моющих средств, красители, различные добавки, антибиотики, нитраты и др.; биологические (Б) – микроорганизмы, вирусы, паразиты, плесень; аллергены (А) - куриное яйцо, орехи, молоко коровье, пшеница и др. Для изделия булочка «Цельнозерновая» был разработан подход, охватывающий параметры безопасности на всех этапах его жизненного цикла на основе ХАССП (таблицы 20-22) .

Таблица 20 – Выявление и описание опасных факторов производственных процессов приготовления

Наименование операции	Опасный фактор	Источник опасности	Вероятность возникновения	Влияние на здоровье	Обоснование
Приемка сырья					
Зерно пшеницы	Ф – посторонние примеси	Производственная среда	Очень низкая	Нарушение работы кишечника тракта	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
	Х – токсические элементы	Производственная среда	Очень низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
	Б - микроорганизмы	Производственная среда	Низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
Молочная сыворотка	Ф – посторонние примеси	Первичное производство. Производственная среда	Очень низкая	Нарушение работы кишечника тракта	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
	Х – токсические элементы	Первичное производство	Очень низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
	Б - микроорганизмы	Производственная среда	Очень низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
Дрожжи хлебопекарные сухие	Ф – посторонние примеси	Первичное производство. Производственная среда	Очень низкая	Нарушение работы кишечника тракта	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
	Х – токсические элементы	Первичное производство	Очень низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
	Б – микроорганизмы	Производственная среда	Очень низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
Сахар белый	Ф – посторонние примеси	Производственная среда	Очень низкая	Нарушение работы кишечника тракта	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
	Х – токсические элементы	Первичное производство	Очень низкая	Серьезные нарушения	Опасность очень низкая. Постав-

	ты			работы органов человека	щик одобрен, есть НТД
	Б – нет	Производственная среда	Очень низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
Соль пищевая	Ф – посторонние примеси	Первичное производство. Производственная среда	Очень низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
	Х – токсические элементы	Первичное производство. Производственная среда	Очень низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
	Б – микроорганизмы	Первичное производство. Производственная среда	Очень низкая	Серьезные нарушения работы органов человека	Опасность очень низкая. Поставщик одобрен, есть НТД
Хранение сырья					
Зерно пшеницы	Ф – посторонние примеси	-	-	-	-
	Х – токсические элементы	-	-	-	-
	Б – микроорганизмы	Производственная среда, режимы хранения	Низкая	Нарушение работы кишечника	Опасность низкая. Соблюдаются правила хранения и периодическая органолептическая оценка
Молочная сыворотка	Ф – посторонние примеси	-	-	-	-
	Х – токсические элементы	-	-	-	
	Б – микроорганизмы	Первичное производство. Производственная среда, режимы хранения	Очень низкая	Нарушение работы кишечника	Опасность очень низкая. Соблюдаются правила хранения и периодическая органолептическая оценка
Дрожжи хлебопекарные сухие	Ф – посторонние примеси	-	-	-	-
	Х – токсические элементы	-	-	-	

	ты				
	Б – микро-организмы	Первичное производство. Производственная среда, режимы хранения	Очень низкая	Нарушение работы кишечника	Опасность очень низкая. Соблюдаются правила хранения и периодическая органолептическая оценка
Сахар белый	Ф – посторонние примеси	-	-	-	-
	Х – токсические элементы	-	-	-	-
	Б – микро-организмы	Первичное производство. Производственная среда, режимы хранения	Очень низкая	Нарушение работы кишечника	Опасность очень низкая. Продукт нескоропортящийся. Соблюдаются правила хранения
Соль пищевая	Ф – посторонние примеси	-	-	-	-
	Х – токсические элементы	-	-	-	-
	Б - микроорганизмы	Первичное производство. Производственная среда, режимы хранения	Очень низкая	Нарушение работы кишечника	Опасность очень низкая. Продукт нескоропортящийся. Соблюдаются правила хранения и периодическая органолептическая оценка
Замес теста					
Все ингредиенты (п/ф)	Ф – посторонние примеси	Персонал, производственная среда	Очень низкая	Нарушение работы кишечника	Опасность очень низкая. Оборудование и инвентарь проверены, есть инструкция по эксплуатации и паспорт. Персонал одет в униформу, включающие перчатки, а также уведомлен о правилах личной гигиены на производстве
	Х – токсические элементы	-	-	-	-

	ты				
	Б – микро-организмы	-	-	-	-
<b>Термическая обработка (выпекание)</b>					
Все ингредиенты (п/ф)	Ф – посторонние примеси	Персонал, производственная среда	Очень низкая	Нарушение работы кишечника	Опасность очень низкая. Оборудование и инвентарь проверены, есть инструкция по эксплуатации и паспорт. Персонал в униформе, в перчатках, а также уведомлен о правилах личной гигиены на производстве
	Х – токсические элементы	-	-	-	-
	Б – микроорганизмы	-	-	-	-
<b>Реализация и хранение</b>					
Продукт	Ф – посторонние включения (волосы, личные вещи и т.д.)	Персонал, производственная среда	Очень низкая	Нарушение работы кишечника	Опасность очень низкая. Персонал обучен и квалифицирован, соблюдаются правила санитарии и личной гигиены
	Х – нет	-	-	-	-
	Б – патогенные микроорганизмы	Нарушение норм и условий хранения	Очень низкая	Пищевое отравление	Опасность низкая, т.к. соблюдаются условия, температура и сроки хранения
	А - аллергены	Белок	Низкая	Аллергическая реакция (индивидуальная)	Опасность низкая. Информирование потребителей о наличии в составе аллергенов

Установлены также критические точки приготовления булочки «Цельно-зерновая» (таблица 21).

Таблица 21 – Определение критических (КТ) и контрольных критических (ККТ) точек процессов производства булочки «Цельнозерновая»

Этап	Опасность	Категория опасности	Меры контроля	КТ/ККТ
Приемка сырья	Зерно пшеницы, молочная сыворотка, дрожжи хлебопекарные сушеные, сахар белый, соль пищевая	1С (может вызвать неудобства, но маловероятно). Инородные предметы, токсические элементы, обсемененность	Строгий входной контроль сырья	КТ
Хранение сырья	Зерно пшеницы, молочная сыворотка, дрожжи хлебопекарные сушеные, сахар белый, соль пищевая. Отсыревание	1С (может вызвать неудобства, но маловероятно)	Соблюдение правил условий и сроков хранения в соответствии с нормами	КТ
Замешивание теста	Попадание инородного предмета	1D (может вызвать неудобства, но маловероятно)	Инспекция инвентаря от оборудования в соответствии с инструкцией и паспортом, проверка личной гигиены работников и соблюдение ими санитарных правил и норм	КТ
Термическая обработка (выпекание)	Попадание инородного предмета	1D (может вызвать неудобства, но маловероятно)	Проверка личной гигиены работников и соблюдение ими санитарных правил и норм	КТ
Реализация и хранение булочек	Посторонние включения, наличие в составе аллергенов	3С (может вызвать заболевание)	Соблюдение правил условий и сроков хранения в соответствии с нормами, информирование потребителя о наличии аллергенов в составе	ККТ 1 – содержание аллергенов

В таблице 22 представлены описание и мониторинг найденных критических контрольных точек при производстве булочек «Цельнозерновых». Выявлена одна ККТ на этапе реализации из-за содержания в готовом продукте аллергенов – белков пшеницы и молочной сыворотки.



Таблица 22 – Описание и мониторинг найденных ККТ при производстве булочки «Цельнозерновая»

№ККТ Т	Этап	Опас- ность	Действия при наруше- нии	Меры кон- троля	Мониторинг		
					Что	Как	Перио- дичность
ККТ 1	Реализа- ция	Аллерге- ны	При от- сутствии надлежа- щей ин- форма- ции, за- прет на реализа- цию	Полное и по- нятное инфор- мирова- ние по- треби- теля на упаков- ке	Полнота и досто- верность инфор- мирова- ния по- требите- ля	Надле- жащие про- верки инфор- фор- миро- вания	При каждом приго- товле- нии и реали- зации

Разработанные решения являются прогрессивным направлением при производстве хлебобулочных изделий и в общественном питании при использовании диспергированного цельного пророщенного зерна пшеницы, например для изготовления овощных блюд, каш, печенья, хлебцев, лепешек, сухих завтраков, напитков, панировки для курицы и рыбы. Апробация реализована в производственных условиях ИП Стрельцов Д.С. (г. Суздаль). Кроме того, разработана рецептура и технология мучных изделий «Новая-1» с добавлением НЧС и ЭХАР, для снижения количества микроорганизмов – вредителей технологических производств и с целью подавления «картофельной болезни» хлеба. Производственные испытания реализованы на базе ООО «4ПАПАС» (г. Москва).

Настоящее комплексное исследование позволило решить новые задачи, в том числе по сохранению продуктов питания необходимого уровня качества и безопасности в течение пролонгированного срока годности. Возможность практического применения упаковок, содержащих НЧС, оценена на базе Лечебно-реабилитационного клинического центра «Юдино» - филиала ФГБУ «НМИЦ РК» Минздрава России в период 14.06.2016-14.09.2016 г. (Договор № ГЗ-118 от 14.06.2016).

## 4.6 Заключение по четвертой главе

Представлен обзор современных представлений о механизмах антимикробного действия наноразмерных частиц и особенностях их влияния на грибные и бактериальные клетки. Получено уравнение зависимости изменения количества микроорганизмов в 1 г зерна пшеницы от содержания НЧС. Разработан способ обработки зернового сырья НЧС (0,092 г/кг зерновой массы) с хитозаном, позволяющий подавить микробную контаминацию зерна до уровня безопасности по нормам ТР ТС 021/2011. Описан метод снижения (щелочная обработка) содержания НЧС в зерне (более чем в 400 раз), прошедшем антимикробную обработку.

Разработан способ антибактериальной обработки дрожжей (*S. cerevisiae*) посредством применения коллоидного раствора НЧС (10-15 нм), стабилизированного смесью глицина и гуммиарабика, до конечной концентрации 0,001-0,004 г/дм<sup>3</sup> (патент № 2584603), обеспечивающий снижение активности микроорганизмов в процессе генерации и хранения дрожжей.

Представлены данные по ингибирующему влиянию НЧС на бактериальный состав микрофлоры наиболее востребованных зерновых культур пшеницы и ржи. Показана различная антимикробная эффективность воздействия выбранных препаратов «Коллоидное серебро Аджента», «Концентрат коллоидного серебра «КНД-С-К» в течение 24 и 144 ч после обработки зерновых культур.

Отдельно отмечена отрицательная роль бактерий рода *B. subtilis* на зерновое производство. Проведена их идентификация в зерновых культурах и предложены меры по эффективному уничтожению в зерне при помощи НЧС. Результаты проведенных согласно методике ГОСТ ISO 21871-2013 опытов показали эффективность применения НЧС против *B. subtilis* (24 ч культивирования, концентрация НЧС 0,075 г/дм<sup>3</sup>).

Выполнен анализ избирательного бактерицидного действия коллоидных систем НЧС, стабилизированных пищевыми солюбилизаторами, на микроорганиз-

мы пищевых продуктов. Предложены способы регулирования жизнедеятельности микроорганизмов при культивировании микроорганизмов-продуцентов на твердых питательных средах с использованием отходов растительного сырья. Разработана технология регулирования биотехнологических процессов в производстве пищевых продуктов с применением коллоидных растворов НЧС.

Исследована возможность применения НЧС и криотехнологии для обеспечения биологической безопасности продуктов питания при хранении. Показано, что для долгосрочного криохранения полуфабрикатов высокой степени готовности может использоваться упаковочный материал с нанесением НЧС.

Установлено, что концентрация 0,015 мг/дм<sup>3</sup> НЧС в тесте из пшеничной муки, инфицированного культурой *Bacillus subtilis*, для приготовления мелкоштучных хлебобулочных изделий, является «нижним порогом» подавления «картофельной болезни».

Полученные научные и практические данные о способах воздействия наночастиц на микроорганизмы и сведения в части применения криотехнологии расширяют сферу их применения в пищевой промышленности и способствуют совершенствованию технологии продуктов длительного хранения. Проанализирована возможность использования наноматериалов для создания упаковочных материалов с бактерицидными свойствами в пищевой промышленности. Перспектива развития направления при внедрении - исследование в области обеспечения безопасности на соответствие положениям ТР ТС 029/2012 и требованиям Роспотребнадзора (МУ 1.2.2966-11). Подготовка и проведение дополнительных научно-прикладных исследований с использованием различных комплексных методов физико-химической обработки позволит разработать технико-технологические решения для продления сроков годности сырья и продуктов, повышения их качества, безопасности и эффективности использования. Разработанные технико-технологические решения, в особенности в условиях периодов кризисных явлений в экономике, будут иметь и стратегическое значение.

Таким образом, оценена возможность и предложен способ применения НЧС для повышения биологической безопасности зернового сырья в различных отрас-

лях 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 эффективно снижает количество микробиоты контаминантов при производстве кваса, пива, спирта, хлебобулочных изделий, хлебопекарных и кормовых 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

### 5.1 Высокоэффективные технологические решения обеспечения безопасности и пролонгации срока годности продовольственного сырья растительного происхождения

По оценкам ВОЗ около 600 миллионов человек заболевают после употребления загрязненных пищевых продуктов. Опасные для человека вещества могут накапливаться в пищевых продуктах по ходу пищевой цепи, главным образом на этапах производственной и кулинарной обработки [СанПиН 2.3.2.1324-03; Доценко, 2013; Красникова, 2014; Белова, 2018; Wood, 2010; Akabanda, 2017]. Наибольшую пользу из овощей можно извлечь, употребляя их в пищу сырыми, что, однако, представляет собой некоторую опасность с микробиологической точки зрения.

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 возбуди-

тели листериоза, сальмонеллеза, дезинтерии, норовирусной и ротавирусной инфекций и др.

Представляется перспективным поиск и внедрение высокоэффективных технико-технологических решений, которые будут способствовать повышению безопасности услуг общественного питания и ресурсосбережению [Галынкин, 2007; Першакова, 2018; Ehret, 2001; Feliziani, 2016; Stoica, 2018; Bhilwadikar, 2019]. Одним из наиболее экологичных способов обработки как продуктов, так и производственных поверхностей и оборудования в АПК, является использование ЭХАР нового поколения в сравнении с предыдущими - ДС «Анолит АНК СУ-ПЕР» [Бахир, 1981-2016; Мирошников, 1997-2013; Томилов, 2002; Ваннер, 2015-2016; Прокопенко, 2015; Liu, 2006; Rodrigues-garsia, 2011; Gil, 2015; Gluhchev, 2015; Ding, 2019].

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 23).

Таблица 23 – 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	$1 \times 10^6$	$1 \times 10^5$	$1 \times 10^3$	<b>Не выявлено</b>
	14 сут хранения	$\geq 1 \times 10^8$	$\geq 1 \times 10^8$	$2 \times 10^4$	<b><math>5 \times 10^3</math></b>
Белокачанная капуста	I стадия обработки	$\geq 1 \times 10^8$	$1 \times 10^4$	$1 \times 10^4$	<b><math>1 \times 10^3</math></b>
	II стадия обработки	-	-	-	<b><math>1 \times 10^2</math></b>

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  $460 \text{ мг/дм}^3$  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 концентрацией активного хлора  $460 \text{ мг/дм}^3$  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  $100 \text{ мг/дм}^3$  в течение 10 мин, с последующим промыванием разбавленным анолитом во второй емкости ( $10 \text{ мг/дм}^3$ , 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  $125 \text{ мг/дм}^3$  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.

Кроме того, изучена эффективность обработки пищевых продуктов (на примере белокочанной капусты, которая употребляется как в свежем виде, так и

как компонент салатов) низкотемпературной плазмой (НТП) для снижения обсемененности при контаминации образцов грамположительными бактериями *Listeria monocytogenes* - возбудителем листериоза, передающегося в основном через пищу. Смертность от листериоза – возбудителем заболевания листериоза, передающегося, в основном, через продукты питания (28 % от количества летальных исходов, вызванных патогенными микроорганизмами в пище).[Scallan, 2011; FAO WHO, 2004, 2010].

В работе экспериментально подобрана заражающая концентрация листерий ( $10^4$  КОЕ/г). Качественную оценку эффективности НТП в отношении планктонных клеток *L. monocytogenes* определяли при помощи метода отпечатков (рисунок 37). 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. Изменения в биомассе биопленки *L. monocytogenes in vitro* с использованием 96-луночных плоскодонных полистироловых планшетов в результате обработки НТП приведены на рисунке 38.

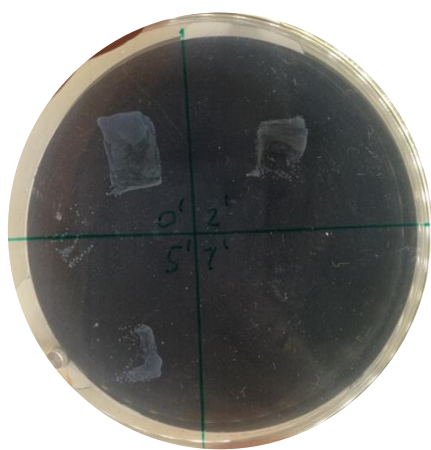


Рисунок 37 – Оценка эффективности НТП в отношении планктонных клеток *L. monocytogenes* методом отпечатков

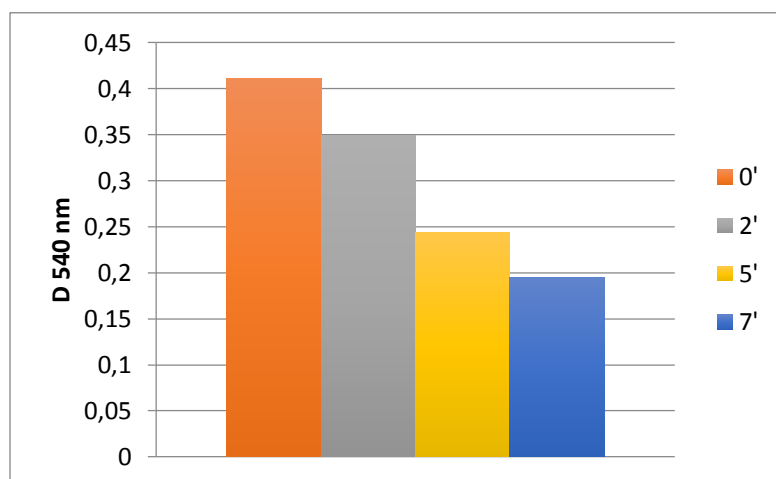


Рисунок 38 – Изменения в биомассе биопленки *L. monocytogenes in vitro* в результате обработки низкотемпературной плазмой

В работе использовалась обработка образцов НТП в течение 2, 5 и 7 мин и сравнивалась с контролем – необработанным образцом. Показано, что НТП является эффективным средством против бактерий *L. monocytogenes*. В эксперименте с



разрушением биопленок в 96-луночном полистироловом планшете увеличение времени обработки позволило добиться стабильного бактерицидного эффекта. Эффективность НТП в отношении бактерий и биопленок *L. monocytogenes* проиллюстрировано на рисунках 39-40.

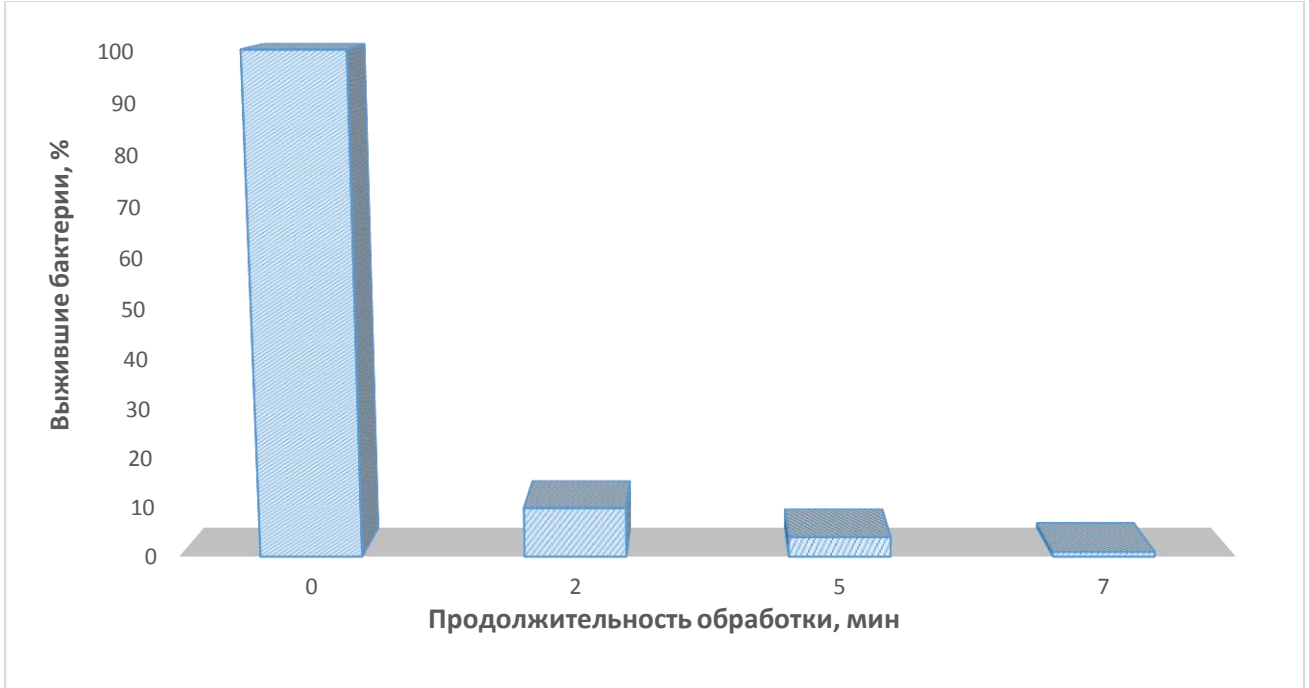


Рисунок 39 – Эффективность НТП в отношении *L. monocytogenes* на внутренней стороне капустного листа

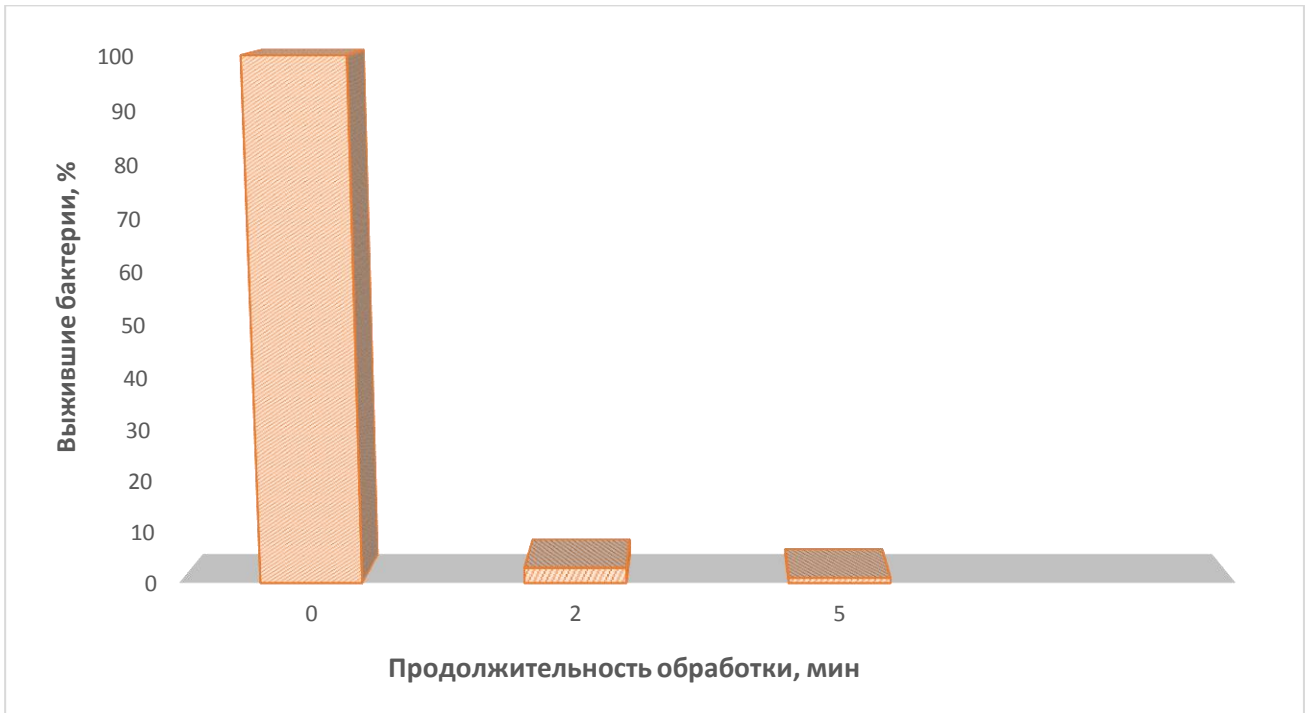


Рисунок 40 – Эффективность НТП в отношении биопленок *L. monocytogenes in vitro*

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.

## 5.2 Высокоэффективные технологические решения обеспечения безопасности и пролонгации срока годности продовольственного сырья животного происхождения

### 5.2.1 Криоэлектрохимическая технология обеспечения безопасности и пролонгации срока хранения рыбы

Содержание в рыбе значительного количества воды, ненасыщенных жирных кислот и белков предопределяет особые условия ее хранения по сравнению с другими видами сырья животного происхождения. Это связано с химическим составом организма рыб, но представляет собой благоприятную среду для развития микроорганизмов, которые могут быть патогенными или вызывать порчу рыбы [Цибизова, 2009; Бычкова, 2010; Подопригора, 2013].

Масштабными исследованиями 2016-2020 гг. [Роскачество, 2020] было проанализировано качество и безопасность лососевых рыб (38 товаров ведущих 17 торговых марок). Повышенная микробная обсемененность, листерии, кишечная палочка, золотистый стафилококк - нарушение ТР ЕАЭС 040/2016 «О безопасности рыбы и рыбной продукции». Несоответствия в части микробиологии при повторном исследовании 2020 года обнаружены в семге пяти торговых марок. Органолептические показатели качества также были неудовлетворительны, свидетельствуя о начале процесса порчи рыбы. Избыток консервантов (бензойная кислота), выявленный в семге одной торговой марки, является нарушением ТР ТС 029/2012 «Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств».

Специальные технологии криообработки для пищевого сырья определяются хранением при низких температурах, на мелком льду, в чешуйчатом или «снежном» льду, в смеси морской воды с колотым льдом, в морской воде. При охлаждении рыбы известными методами рост бактерий несколько замедляется, что существенно влияет на качество и срок хранения сырья [Obasohan, 2010; Olayiwola, 2015; Tolstorebrov, 2016; Lee, 2017; Lessa, 2017; Thorn, 2017; Aliyu, 2018]. Для производства бактерицидного льда был использован генератор льда COOLEQ ZB-15AP (Китай), представленный на рисунке 41.

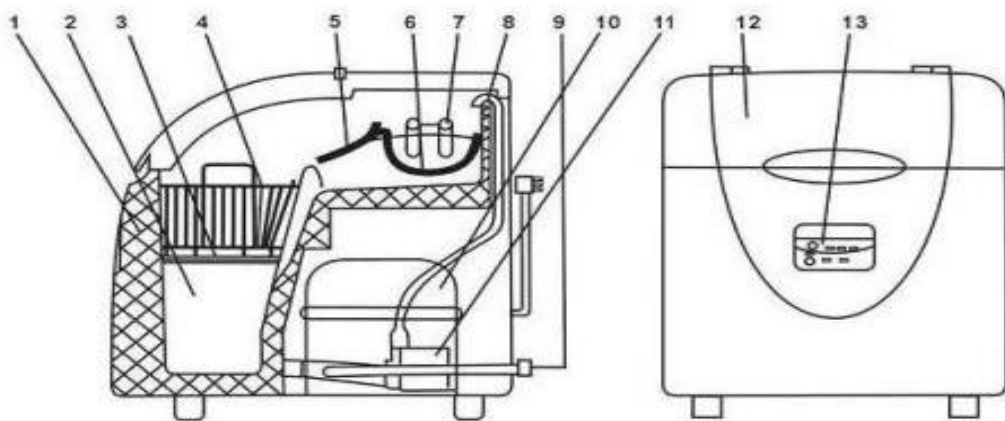


Рисунок 41 – Описание установки COOLEQ ZB-15AP, где 1 - внутренняя втулка, 2 - резервуар воды, 3 - емкость для сбора льда, 4 - корзина для хранения льда, 5 - лопатка для льда, 6 - поднос с водой, 7 - испаритель, 8 - трубка впуска воды, 9 - пробка слива воды, 10 - компрессор, 11 - помпа воды, 12 - крышка, 13 - панель управления

На первом этапе эксперимента было принято решение в качестве испытуемого сырья взять форель радужную (*Salmo irideus*), с жирностью более 8 %, и карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*), 4-8 %. Перед исследованием рыба подвергалась следующей технологической обработке: снятие чешуи - удаление головы – удаление плавников – потрошение – промывание. Далее тушки рыбы разделялись на равные стейки с кожей и костями. Охлаждение и хранение рыбы проводилось в соответствии с ГОСТ 814-96 «Рыба охлажденная. Технические условия» с соблюдением санитарных норм и правил:

- применяемые сырье и материалы (рыба живая, рыба-сырец, лед) соответствовали требованиям нормативных документов;
- образцы рыбы охлаждали и упаковывали в полимерные емкости, разрешенные для контакта с пищевыми продуктами;
- используемые полимерные емкости плотно закручивались крышками;
- температура в теле охлажденной рыбы соответствовала диапазону от минус 1 до плюс 5°С;
- тара для упаковывания охлажденной рыбы была прочной, чистой, стерильной, без постороннего запаха;
- стерилизация рабочих поверхностей, упаковочных материалов и инструментов проводилась с использованием дезинфицирующего средства «Анолит АНК СУПЕР» [Ваннер, 2016].

Для усовершенствования технологии хранения и продления сроков годности свежей рыбы применяли бактерицидный лед из фракции ЭХАР анолита - «Анолит АНК СУПЕР» (ООО «Делфин Аква», Россия) в виде кубиков льда (размером 2x2 см), водно-ледяной смеси (соотношение 1:1) и гелеобразного льда. Кубики льда получали с помощью льдогенератора COOLEQ ZB-15AP, (Китай). Водно-ледяную смесь приготавливали добавлением дробленого льда к ЭХАР в количестве 50 % от смеси. Гелеобразный лед получали путем применения измельченного до размеров льда порядка 2 мм.

Данные сравнительного анализа характеристик ЭХАР и бактерицидного льда приведены в таблице 24.

Таблица 24 – Сравнительный анализ характеристик электрохимически активированного раствора и бактерицидного льда

Наименование	Анолит	Бактерицидный лед из анолита
Концентрация оксидантов, мг/дм <sup>3</sup>	390	88
Общая концентрация растворенных веществ (минерализация), г/дм <sup>3</sup>	0,7	0,6
Окислительно-восстановительный потенциал, мВ	1168	800

Исследуемые пробы охлаждали и хранили 5 сут в различном по составу льду при температуре от 0 до -2°С. Органолептические показатели оценивали согласно ГОСТ 814-96. Поскольку, согласно ТР ТС 021/2011 рыбное сырье, содержащее БГКП, на производство не допускается, оценивали микробиологический статус образцов форели и карпа до начала опыта. БГКП в образцах не обнаружены.

В контрольных пробах форели и карпа, хранившихся в течение 1 сут во льду из водопроводной воды, выявлен сплошной рост колоний, свидетельствующий о полном загрязнении. При хранении образцов рыбы в бактерицидном льду отмечено уменьшение ОМЧ. Полученные результаты, оцененные по ГОСТ 26670-97, приведены в таблице 25.

Таблица 25 – Влияние способа хранения рыбы на микробиологические показатели на первые сутки хранения

Способ хранения		КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>2</sup>
Контрольный образец	Форель	>1000
	Карп	>1000
Кубики льда	Форель	>1000
	Карп	640
Водно-ледяная смесь	Форель	500
	Карп	440
Гелеобразный лед	Форель	600
	Карп	560

Полученные данные показали, что при охлаждении и хранении исследуемых образцов происходит снижение микробиологической обсемененности. Охлаждение свежей рыбы в бактерицидном льду снижало ОМЧ в ~2 раза. Органолептические показатели приведены в таблице 26.

Таблица 26 – Органолептический анализ образцов рыбы

Показатель	Образец сырья	
	Форель радужная	Карп речной
Цвет перед экспериментом	Серый, свойственный кожному покрову	Серый, свойственный кожному покрову
Цвет после охлаждения льдом из анолита	Светло-серый	Светло-серый
Цвет после промывания разведенным анолитом	Светло-серый	Светло-серый
Запах перед экспериментом	Свойственный рыбному сырью	Свойственный рыбному сырью
Запах после охлаждения сырья льдом из анолита	Легкий запах хлора	Легкий запах хлора
Запах после промывания разведенным анолитом	Запах хлора отсутствует	Запах хлора отсутствует

Установлено, что в образцах рыбы кожный покров становился светлее по сравнению с исходным. Легкий запах хлорсодержащих оксидантов устранялся двукратной обработкой разбавленным в 10 раз анолитом. При хранении образцов обоих видов рыб в течение 5 сут во льду из водопроводной воды выявлен сплошной рост колоний (таблица 27).

Таблица 27 – Влияние способа хранения рыбы на микробиологические показатели на пятые сутки хранения

Способ хранения		КМАФАнМ, КОЕ/см <sup>2</sup>
Контрольный образец	Форель	>1000
	Карп	>1000
Кубики льда	Форель	>1000
	Карп	>1000
Водно-ледяная смесь	Форель	850
	Карп	800
Гелеобразный лед	Форель	>1000
	Карп	>1000

Совместное применение методов замораживания и обеззараживания в виде водно-ледяной смеси приводило к повышению безопасности рыбы и ее устойчивости при хранении, финишная обработка разведенным в 10 раз ЭХАР гарантировала отсутствие несвойственного запаха.

Показано, что максимально эффективным способом, обеспечивающим сохранность микробиологического качества (КМАФАнМ) сырья в пределах допустимой нормы (1000 КОЕ/см<sup>2</sup>) в соответствии с ТР ТС 021/2011, является охлаждение и хранение свежей рыбы в водно-ледяной смеси из анолита. При этом органолептические показатели были удовлетворительными.

Для целей пролонгации срока годности рыбного сырья до 7 сут на следующем этапе изучали эффективность применения анолита нового поколения с пониженной минерализацией, стабильного при замораживании. Использование предлагаемого способа обусловлено сочетанием решений, обеспечивающих антимикробное воздействие на различные объекты без использования традиционных химических препаратов стабильного состава, но с применением химических соединений в метастабильном состоянии, синтезированных электрохимическими методами.

Основным направлением в разработке новых способов сохранения качества и пролонгации срока годности свежей рыбы являлись специальные криотехнологии с применением льда с бактерицидными свойствами, проверенные экспериментально.

В качестве сырья использовалась свежая коммерчески доступная (Россия) радужная форель. Во время исследования рыбу, помещенную в специальные емкости со льдом, хранили в холодильной камере. Первая партия образцов была помещена в лед, образованный из водопроводной воды. Вторая партия была помещена в бактерицидный лед из ЭХАР нового поколения «Анолит АНК СУПЕР» (ООО «Дельфин Аква», Россия).

Подробная научно-методическая и практическая информация о возможности использования прогрессивных дезинфицирующих систем в агропродоволь-

ственных технологиях представлена в [Бахир, 2014; Fabrizio, 2005; Stamatis, 2007; Suvorov, 2018].

Проведены сравнительные лабораторные исследования по изменению характеристик ЭХАР после процесса замораживания. Для этого отбирали пробы анолита и произведенного из него льда для определения степени бактерицидной активности, а также рыбного сырья, содержащегося в бактерицидном льду.

Органолептические показатели рыбного сырья определялись в соответствии с ГОСТ 7631-2008. На основании результатов испытаний был сделан вывод о свежести рыбы и ее пригодности в качестве сырья для проведения экспериментов в соответствии с характерными особенностями.

Внешний вид и цвет продукции определяли путем осмотра продукции. Цвет изделий определялся на поверхности или в сечении, сделанном непосредственно при осмотре.

Консистенция рыбы была определена, когда продукт был сжат пальцами или нажатием на поперечное сечение. Запах рыбы определялся на поверхности. Контроль проводился до начала эксперимента, после эксперимента и во время холодного хранения.

Оценка микробиологических показателей проводилась по ГОСТ 31747-2012. Опытные образцы рыбы охлаждали и хранили в течение 7 сут в бактерицидном льду при температуре от 0 до  $-2^{\circ}\text{C}$ ; контрольные - во льду из водопроводной воды. Перед посевом готовили десятикратные разведения, затем  $1\text{ см}^3$  образца брали и вводили в питательную среду чашки Петри.

После затвердевания среды чашки Петри помещали в термостат при  $37^{\circ}\text{C}$  на 24 ч. В конце этого периода подсчитывали количество выращенных колоний в каждой чашке. Метод определения *E.coli* также проводился согласно требованиям нормативных документов.

Для определения статистической значимости различий использовали t-критерий Стьюдента. Полученные характеристики ЭХАР до и после процесса замораживания представлены в таблице 28 (результаты 5-10 определений каждого показателя представлены в виде среднего,  $P < 0,05$ , сравнение до/после).



Таблица 28 – Сравнительный анализ характеристик ЭХАР

Наименование	Концентрация оксидантов, мг/дм <sup>3</sup>	Общая концентрация растворенных веществ (минерализация), г/дм <sup>3</sup>	ОВП, мВ
Анолит	344	0,57	979
Бактерицидный лед из анолита до использования	245	0,84	956
Бактерицидный лед из анолита после использования	64	1,20	673

После использования льда, полученного из анолита, наблюдали уменьшение его окислительной способности и концентрации оксидантов. Результаты микроскопического исследования льда, полученного из водопроводной воды (значительное количество посторонних веществ) и из ЭХАР, показаны на рисунках 42-43.

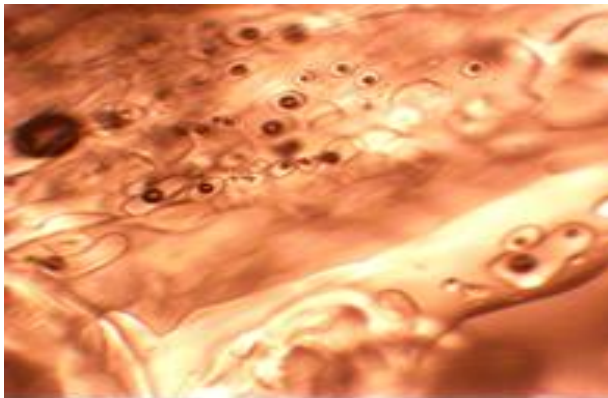


Рисунок 42 – Лед из водопроводной воды, 10х

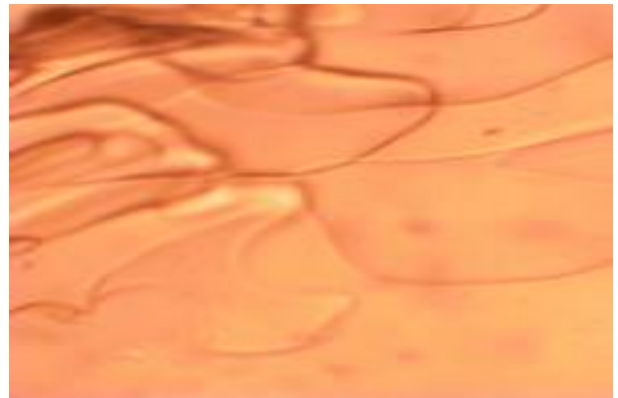


Рисунок 43 – Лед из ЭХАР, 10х

Органолептический анализ образцов рыбного сырья проводился на 5 сутки с момента начала эксперимента. Результаты показаны в таблице 29.

Таблица 29 – Органолептический анализ образцов рыбного сырья после хранения в обычном льду (из водопроводной воды) и в бактерицидном льду (из анолита)

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

Можно сделать вывод, что охлаждение и хранение в среде с ЭХАР влияет на изменение органолептических показателей рыбного сырья. У рыб, которые хранились в бактерицидном льду, цвет кожи становился светлее по сравнению с оригиналом и появлялся слабый запах хлора. В то же время при повторной обработке испытуемых образцов анолитом с минимальной концентрацией окислителей ( $50 \pm 15$  мг/дм<sup>3</sup>) слабый запах исчезал. Рыба, хранящаяся в обычном льду, почти не меняла цвет, но появился запах несвежей рыбы (исключена из дальнейших экспериментов).

В образце, который хранился на льду из водопроводной воды в течение одних суток (на примере радужной форели) наблюдался непрерывный рост колоний (общее загрязнение). При использовании метода охлаждения и хранения сырья в бактерицидном льду наблюдалась тенденция к значимому ( $p < 0,05$ ) снижению микробиологического обсеменения (рисунки 44-46).



Рисунок 44 – Образец хранился 1 сут в обычном льду (непрерывный рост микроорганизмов)

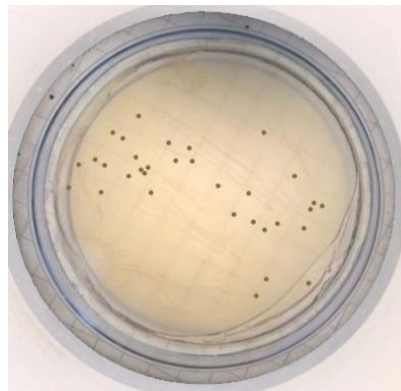


Рисунок 45 – Образец хранился 1 сут в бактерицидном льду (отдельные колонии микроорганизмов)

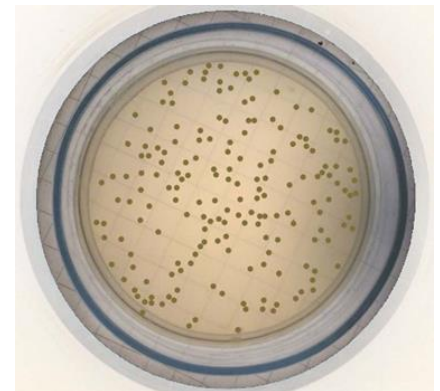


Рисунок 46 – Образец хранился 7 сут в бактерицидном льду (колонии микроорганизмов)

Отдельные колонии микроорганизмов наблюдались в образцах, хранившихся одни сутки в бактерицидном льду (рисунок 45). На седьмые сутки хранения форели во льду из ЭХАР (рисунок 46) количество колоний не превышало допустимых норм. Органолептические характеристики этих образцов рыб также соответствовали необходимым требованиям. Серия экспериментов показала отсутствие *E.coli* в исследуемых пробах.

Проведение микробиологических, санитарно-химических и органолептических исследований свойств продукции при хранении является основой обоснования срока ее годности согласно МУК 4.2.1847-04 «Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов». Продолжительность исследования продукта должна быть больше ожидаемого срока годности, указанного в проекте документации, на время, определяемое коэффициентом резерва. По результатам работы коэффициент резерва составил 1,4, срок годности - 7 сут. ОМЧ находилось на допустимом уровне. Органолептические характеристики образцов соответствовали необходимым требованиям.

Благоприятное влияние криотехнологии на улучшение качества и сохранности рыбы и рыбного сырья было показано в различных исследованиях [Харина, 2015; Роскачество, 2020; Tolstorebrov, 2016; Lee, 2017; Pugachev, 2018]. Сопряженная криоэлектрохимическая технология была применена Thorn et al. на примере свежих продуктов питания в 2017 году. В работе выявлены антимикробные возможности этого метода хранения при использовании ЭХАР в форме аэрозоля. Различия между этим «аэрозольным» методом и «бактерицидным льдом», используемым в нашем исследовании, к сожалению, не позволяют напрямую сравнить эффективность этих методов. Микробиологическая эффективность ЭХАР для дезинфекции и хранения свежих продуктов подробно обсуждается в [Abadias, 2008; Hung, 2010; Niemira, 2010; Ölmez, 2010; Robinson, 2010; Olaimat, 2012; Goodburn, 2013; Hammond, 2015; Shen, 2016; Meireles, 2016, 2017].

Согласно результатам исследований, методы охлаждения и хранения сырья с использованием льда, образованного из анолита, являются более эффективными с точки зрения органолептических и биологических показателей безопасности по сравнению с хранением рыбы при низких температурах в обычном мелко измельченном льду. Срок годности форели в анолитной среде достиг 7 сут при коэффициенте резерва 1,4, общее количество микроорганизмов находилось на допустимом уровне. Органолептические характеристики образцов соответствовали необходимым требованиям.

Важно отметить, что проведение современных научных исследований по антибактериальной активности ЭХАР позволит разработать новые подходы для обеспечения защиты и биологической безопасности пищевых продуктов. В целях эпидемиологического обоснования продления срока годности охлажденной рыбы при криоэлектрохимических воздействиях будут продолжены биотехнологические, органолептические и физико-химические исследования образцов при хранении при низких температурах.

### 5.2.2 Обеспечение биологической безопасности мяса

При употреблении недоброкачественных продуктов в организме происходит развитие токсикоинфекции, которая приводит к пищевому отравлению. При этом, инфицирование продуктов животного происхождения может происходить при жизни животных, так и в процессе приготовления и хранения пищевых продуктов [Борисенко, 2002; Шилова, 2009; Zhao, 2014; Chen, 2016]. Целью этапа являлось обеспечение биологической безопасности мясной продукции на предприятиях общественного питания посредством технико-технологических решений с использованием ЭХАР.

Анализ открытых источников, нормативных документов и рекомендаций ВОЗ подтвердил повышенную актуальность обеспечения безопасности в индустрии питания. Стабильность частоты интернет-запросов (по данным Google Trends) по пищевым отравлениям от граждан РФ за период 2016-2020 гг. приведена на рисунке 47.



Рисунок 47 – Аналитика веб-поисковых запросов по пищевым отравлениям, Россия, 2016-2020 гг

Посредством анализа потребительских предпочтений на основе опроса 74 респондентов определено, что 18 % предпочитают степень прожарки мяса *medium rare*, при этом лишь 73 % задумываются о уровне безопасности употребления мяса в заданных температурных режимах.

По данным СП 2.3.6.1079-01, определить готовность мяса можно по выделению в месте прокола бесцветного сока, температурой в центре продукта, и серым цветом на разрезе. Температура в толще продукта должна быть не ниже 85°C. Известно, что для гибели бактерий при температуре 60°C в среднем необходимо 15-20 мин, что не всегда обеспечивается в технологическом процессе приготовления блюда.

Согласно данным ВОЗ самая опасная температура для продуктов питания составляет от 5°C до 60°C, когда микроорганизмы размножаются с большой скоростью. В то же время при приготовлении блюда «Ростбиф» по традиционной технологии температура в толще изделия не превышает 56°C, что небезопасно (рисунки 48-49). В работе предложены технологические решения повышения биологической безопасности продукции общественного питания на примере блюда «Ростбиф» с использованием ЭХАР при промывании мяса с учетом требований СП 2.3.6.1079-01 и пяти принципов безопасного питания ВОЗ.

По микробиологическим и физико-химическим показателям данное блюдо соответствовало требованиям ТР ТС 021/2011. Результаты органолептической оценки показали, что предпочтение (87 %) по всем определяемым показателям по ГОСТ 31986-2012 дегустационная комиссия (15 человек) отдала ростбифу, приготовленному по усовершенствованной технологии с обработкой мяса ЭХАР.

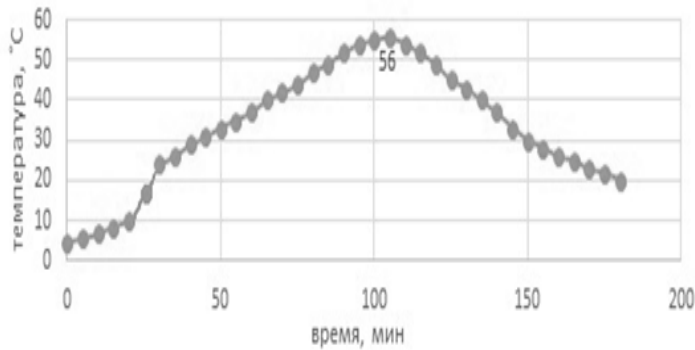


Рисунок 48 – Температурный режим в центре при приготовлении блюда «Ростбиф»



Рисунок 49 – Блюдо «Ростбиф», вид в разрезе после приготовления

На следующем этапе оценивали возможность обработки мяса фракцией ЭХАР анолитом (концентрация активного хлора - 450 мг/дм<sup>3</sup>) как способ продления сроков годности мясных полуфабрикатов (лопаточная часть говядины). Применено 3 способа обработки: погружение, орошение и двойная обработка (15-минутное погружение с последующим орошением).

Установлено, что в первые сутки хранения (при температуре 4±2°C) 15-минутное погружение и орошение наиболее эффективны и на порядок снижают ОМЧ (при трехкратном разведении с 2,2х10<sup>4</sup> у контроля до 1х10<sup>3</sup> и 3х10<sup>3</sup> у опытных образцов, соответственно).

Обработка мяса ЭХА анолитом (концентрация активного хлора - 450 мг/дм<sup>3</sup>) показала снижение ОМЧ в 2-10 раз в зависимости от способа и режима обработки. Пролонгация срока годности при температуре хранения 4±2°C составила 1 сут.

Органолептические показатели вареного мяса и бульона приведены в таблице 30.

Таблица 30 – Органолептические показатели вареного мяса и бульона

Сутки хран.	Контроль	Погружение 15 мин	Орошение	Двойная обработка
1	Запах естественный, свойственный вареному мясу. Цвет мяса темно-коричневый. Бульон прозрачный, светло-желтый. Хлопья темно-коричневые с сероватым оттенком, присутствует слизь	Запах естественный, свойственный вареному мясу. Цвет более светлый, серовато-коричневый. Бульон прозрачный, светло-желтый. Хлопья менее слизкие	Запах естественный, свойственный вареному мясу. Цвет серый. Осадок мутный. Бульон светло-желтый, прозрачный. Хлопья коричневые	Запах естественный, свойственный вареному мясу, но менее выраженный. Цвет темно-коричневый. Бульон желтый, хлопья светло-коричневые
3	Запах слегка гнилостный, хлопья крупные. Мясо светло-серого цвета. Бульон прозрачный, светло-желтый. Хлопья темно-коричневые	Запах, свойственный бульону без посторонних запахов. Хлопья среднего размера, мясо темно-серое. Бульон прозрачный, белый, светлее, чем контроль	Запах приятный, слабовыраженный. Мясо темно-коричневого цвета. Бульон прозрачный, желтый, более яркий, чем контроль и 15 мин. Хлопья насыщенного темно-коричневого цвета	Запах слегка гнилостный. Цвет темно-коричневый. Бульон прозрачный, светлый. Хлопья мелкие, светло-коричневые

В используемом анолите после применения значительно уменьшались такие показатели, как ОВП, рН, концентрация оксидантов и минерализация. Данные приведены в таблице 31.

Таблица 31 – Анализ анолита после обработки мяса

Режим	ОВП, мВ	рН	Концентрация оксидантов, мг/дм <sup>3</sup>	Минерализация, г/дм <sup>3</sup>
Контроль	995,2	5,26	457,44	0,65
Погружение	561,8	4,83	Нет реакции (полное поглощение хлора)	1,99
Двойная обработка	592,6	4,36	156,02	1,5



Таким образом, обработка мяса (лопаточная часть говядины) ЭХА анолитом (концентрация активного хлора – 450 мг/дм<sup>3</sup>) показала снижение ОМЧ в 2-10 раз в зависимости от способа и режима обработки. Пролонгация срока годности при температуре хранения 4±2°С составила 1 сут. Обработка ЭХАР является перспективным направлением в пищевой промышленности и индустрии питания и подлежит подробному изучению.

### 5.2.3 Разработка технологических решений и определение рабочего режима бесхлорной обработки мяса птицы

На протяжении многих лет продукты животного происхождения являются неотъемлемой частью рациона человека, поскольку блюда, приготовленные из них, способны удовлетворить суточные потребности любого человека в белках, жирах, углеводах, витаминах и минеральных веществах. Основное значение продуктов животного происхождения в питании человека заключается в поставках незаменимых аминокислот, участвующих в синтезе белков.

Благодаря большому содержанию белков (14-24 %) и влаги (71-76 %), которые с микробиологической точки зрения представляют собой питательные вещества, создающие благоприятные условия для жизнедеятельности микроорганизмов, сырые продукты животного происхождения, в частности, мясо птицы, являются скоропортящимися продуктами. Для каждого предприятия, использующего продукты животного происхождения в качестве сырья, актуальна проблема не только биологической безопасности, но и повышенный срок хранения, поскольку их быстрая порча приводит к значительным экономическим потерям. В таблице 32 представлено сравнение ЭХАР и некоторых используемых в индустрии питания дезинфектантов (данные из открытых источников).



Таблица 32 – Сравнительная характеристика ЭХАР и традиционных дезинфектантов

Наименование	Анолит АНК СУПЕР	Анолит-перокс	Перекись водорода	Хлорамин Б	Гипохлорит натрия
Действующие вещества	хлор- и кислородсодержащие оксиданты	надугольная кислота, пероксокарбонаты	кислородсодержащий перекись водорода	хлорсодержащий, натриева соль хлорамида бензолсульфокислоты	хлорсодержащий раствор гипохлорита натрия
Антимикробная активность (+/-):					
<i>Бактерии</i>	+	+	+	+	+
<i>Mycobacterium tuberculosis</i>	+	-	-	+	+
<i>Особо опасные инфекции</i>	+	+	+	+	+
<i>Вирусы/грибы/споры</i>	+/+/+	+/+/+	-/-/-	+/+/+	+/+/-
<i>Биопленки</i>	+	-	-	-	-
Устойчивость микроорганизмов к дезинфектанту	нет	нет	нет	есть	есть
Токсичность, класс опасности по ГОСТ 12.1.007-76	4 класс малоопасных веществ	4 класс малоопасных веществ	4 класс малоопасных веществ	3 класс при введении в желудок; 4 класс при нанесении на кожу	3 класс умеренно опасных веществ
Концентрация рабочих растворов	0,05 % по активному хлору при любом типе инфекции	70,0-90,0 мг/дм <sup>3</sup> в эквиваленте активного хлора	2,7-3,2 % в зависимости от типа инфекции	0,13-1,3 % активного хлора (неактивированные растворы)	0,1-0,25 % в зависимости от типа инфекции
Время экспозиции в зависимости от типа инфекции, мин	10-60	30-120	15-120	15-120	30-60
Запах	слабый	нет	нет	выраженный	выраженный
Необходимость растворения	нет, готовый раствор	нет, готовый раствор	нет, готовый раствор	да, порошок	да, концентрат
Срок годности рабочего раствора, сут	30	5	не подлежит хранению	15 (для неактивированного)	14
Необходимость смывания	нет	нет	нет	да	да

С 1 января 2010 г. постановлениями Главного государственного санитарного врача РФ от 02.06.2008 № 33 «О производстве и обороте мяса птицы» и от 04.12.2008 № 66 «Об использовании для обработки тушек птицы растворов, содержащих хлор» запрещено использование для обработки тушек птицы растворов с концентрацией хлора 0,3-0,5 мг/дм<sup>3</sup> (СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»). Отмечено, что для антибактериальной обработки мяса птицы рекомендовано применение различных органических кислот (надуксусная, молочная, уксусная).

Важнейшим этапом в развитии экологически чистых технологий является использование в промышленном птицеводстве современного и универсального технологического приема – ЭХА воды и специальных водных растворов. Анолит-перокс, используемый при обработке мяса птицы, производится в установке СТЭЛ ПЕРОКС (ООО «Делфин Аква», Россия) из питьевой водопроводной воды и пищевой соды на месте потребления и представляет ЭХА водный раствор, активные действующие вещества в котором представлены надугольной кислотой, пероксокарбонатом натрия, гидропероксидными соединениями суммарной концентрацией от 70 до 90 мг/дм<sup>3</sup>.

Анолит-перокс нетоксичен, не оказывает вредного воздействия на окружающую среду, релаксирует во времени с образованием пресной воды и выделением кислорода. Может использоваться в присутствии людей при любом способе применения: протирании, погружении, замачивании и распылении. Минерализация раствора менее 0,9 г/дм<sup>3</sup>. Продукты разложения - пресная вода и углекислый газ. рН раствора 5,0-5,5. Рекомендуемое время хранения - 5 сут.

Установка СТЭЛ ПЕРОКС производит также католит - эффективное нетоксичное средство с выраженными моющими и экстрактивными свойствами (ОВП порядка 800 мВ, продукты разложения - пресная вода и водород, время сохранения свойств - не более 3 сут).

Важной задачей пищевой индустрии является разработка экологически безопасных, нетоксичных антимикробных препаратов широкого спектра действия, не вызывающих в отличие от существующих резистентность микроорганизмов и не требующих их смыва, что было бы обусловлено их преобразованием в аналог стерильной питьевой воды после целевого воздействия.

Для определения общей микробной обсемененности (КМАФАнМ) и наличия патогенных микроорганизмов БГКП были использованы ГОСТ 10444.15-94 и ГОСТ 31747-2012. Из физико-химических показателей наиболее важными для оценки качества и свежести мяса являются определение массовой доли белка и жира, а также химический анализ на свежесть, включающий в себя оценку прозрачности и аромата бульона (по ГОСТ 23392-78).

Целью первого этапа исследования являлось определение влияния ЭХАР на мясо птицы. Для проведения эксперимента была выбрана тушка цыплят бройлера 1 сорта потрошенная, охлажденная, свежая.

Для обработки использовался анолит-перокс, характеристики которого приведены в таблице 33.

Таблица 33 – Характеристики раствора Анолит-перокс до и после использования

Наименование	До использования	После использования
pH	7,6	7,7
Концентрация оксидантов в эквиваленте активного хлора, мг/дм <sup>3</sup>	71,0	Не обнаружены

Применены следующие способы обработки: без предварительной обработки, предварительно обработан водопроводной водой, обработан анолитом-перокс по трехстадийной технологии с превичной промывкой раствором католита, помещением в ванну с анолитом сначала на 60 мин и затем переносом в обновленный анолит еще на 30 мин.

Результаты микробиологического исследования сведены в таблицу 34 и проиллюстрированы на рисунках 50-51.

Таблица 34 – Результаты микробиологического исследования на КМАФАнМ через 24 и 72 ч хранения мяса птицы

Образец, вид обработки	КМАФАнМ, КОЕ/г	
	24 ч	72 ч
Исходный без обработки	сплошной рост	сплошной рост
Обработанный водопроводной водой	сплошной рост	сплошной рост
Обработанный анолитом-перокс	>100	>100
Исходный без обработки в разведении $10^3$	7	10
Обработанный водопроводной водой в разведении $10^3$	>100	>200
Обработанный анолитом-перокс в разведении $10^3$	1	1

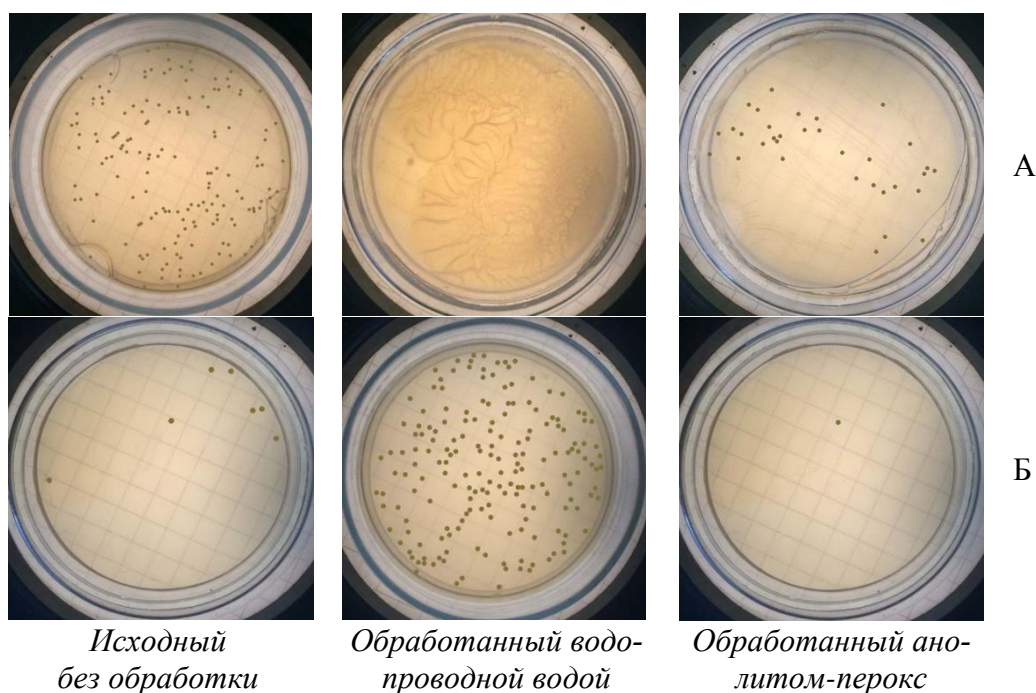


Рисунок 50 – КМАФАнМ (КОЕ/г) спустя 24 ч хранения мяса птицы, где А - без разведения, Б - разведение  $10^3$

Исходя из полученных данных установлено, что разработанная трехстадийная технология является эффективной в борьбе с микробиологической обсемененностью мяса птицы. Показано, что в исходном образце и образце, обработанном водопроводной водой наблюдался сплошной рост колоний, что свидетельствует о тотальном загрязнении продукта. При разбавлении в образце, обработанном во-

допроводной водой также присутствует большое количество колоний. В образце, обработанном анолитом-перокс, в трехкратном разведении обнаружена только одна колония.

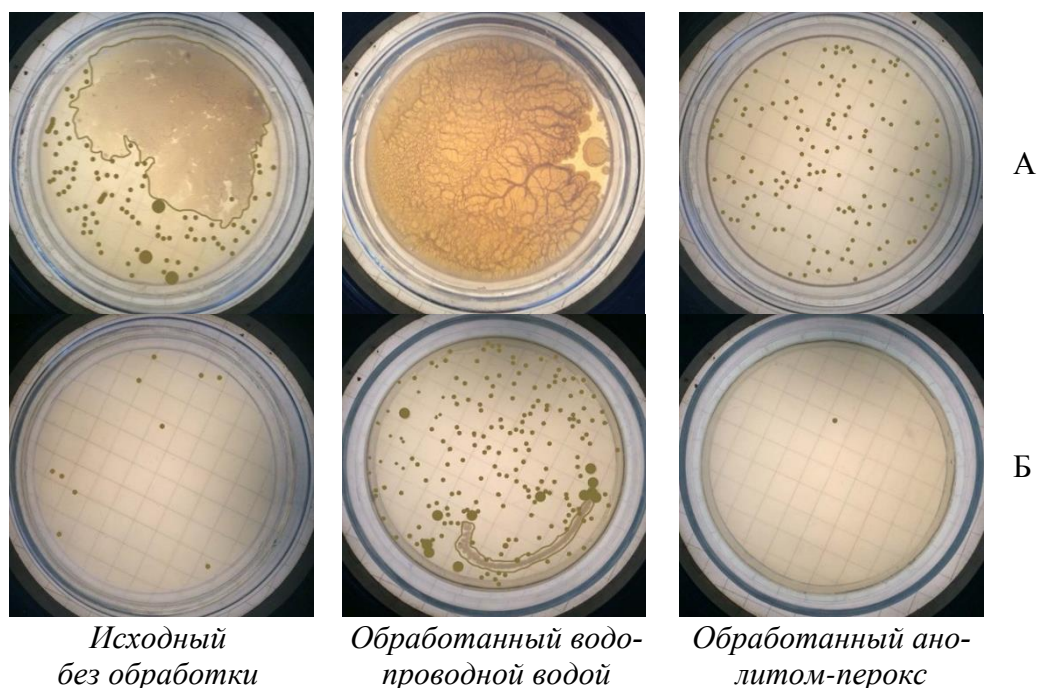


Рисунок 51 – КМАФАнМ (КОЕ/г) спустя 72 ч хранения мяса птицы, где А - без разведения, Б - разведение  $10^3$

Результаты органолептического анализа при хранении сведены в таблицы 35, 36.

Таблица 35 – Органолептические показатели мяса птицы без обработки

Показатель	Мясо без обработки, сутки хранения		
	2	3	4
Цвет	розовый	темно-розовый	эксперимент окончен по причине порчи мяса
Запах	свойственный сырому мясу	испорченного мяса	
Консистенция	влажная, блестящая, появилась липкость	влажная, блестящая, сильная липкость	

Таблица 36 – Органолептические показатели обработанного мяса птицы

Показатель	Мясо, обработанное анолитом-перокс, сутки хранения		
	1-4	5	6
Цвет	светло-розовый	розовый	темно-розовый
Запах	свойственный сырому мясу	свойственный сырому мясу	слегка затхлый
Консистенция	влажная, блестящая	влажная, блестящая	влажная, сильная липкость

Показано, что необработанное мясо птицы испортилось на 3 сут эксперимента: появилась сильная липкость, затхлый, свойственный испорченному мясу запах. Мясо, обработанное анолитом-перокс, хранилось дольше, чем необработанное мясо, признаки испорченного мяса появились лишь на 6 сут. Выявлено, что анолит-перокс положительно влияет на пролонгацию срока хранения, цвет и состояние поверхности мяса. Далее был проведен физико-химический анализ бульона на свежесть с использованием сернистой меди. Результаты органолептической оценки бульона приведены в таблицах 37-38.

Таблица 37 – Органолептическая оценка бульона, сваренного из мяса птицы без обработки

Показатель	Бульон из мяса птицы без обработки, сутки хранения		
	2	3	4
Цвет мяса	бежевый	светло-коричневый	эксперимент окончен по причине порчи мяса
Запах мяса	свойственный отварному мясу	свойственный испорченному мясу	
Цвет бульона	молочный	молочный	
Запах бульона	свойственный свежему бульону	свойственный бульону, слегка затхлый	
Прозрачность	мутный	мутный	
Цвет хлопьев	белые	белые	

Мясо птицы без обработки пришло в негодность на 3 сут хранения (мутность и неприятный запах бульона, большое количество хлопьев). Первые признаки порчи у мяса, обработанного анолитом-перокс, наблюдались на 5 сут хранения. Запах и прозрачность бульона изменились, хлопьев стало больше, что свидетельствовало о несвежести мяса из которого был приготовлен бульон.

Установлено, что ЭХАР - анолит-перокс является эффективным препаратом, позволяющим понизить ОМЧ при обработке свежего мяса птицы. Для обработки свежего мяса наилучшим результатом было признано погружение в анолит на 60, а затем на 30 мин (в обновленный раствор) с предварительной промывкой в катодите. Определено, что обработка электрохимически активированными растворами является перспективным направлением в пищевой промышленности и индустрии.

стрии питания, при этом, необходимо проведение комплексного изучения влияния ЭХАР на пищевую ценность продукта.

Таблица 38 – Органолептическая оценка бульона, сваренного из мяса птицы, обработанного анолитом-перокс

Показатель	Бульон из мяса птицы, обработанного анолитом-перокс, сутки хранения			
	1-3	4	5	6
Цвет мяса	бежевый	светло-коричневый	светло-коричневый	эксперимент окончен по причине порчи мяса
Запах мяса	свойственный свежесваренному мясу	свойственный мясу	слегка затхлый	
Цвет бульона	золотистый	молочный	молочный	
Запах бульона	свойственный свежему бульону	свойственный бульону	свойственный бульону, слегка затхлый	
Прозрачность бульона	прозрачный	полупрозрачный	мутный	
Цвет хлопьев	белый	белый	желтовато-белый	

Таким образом, бесхлорная технология обработки мяса птицы (тушка цыпленка бройлера 1 сорта потрошенная, охлажденная) ЭХАР на основе гидрокарбоната натрия не ухудшала 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.

### 5.3 Заключение по пятой главе

В работе предложен эффективный комплекс технологических решений, физико-химических приемов и методов с применением ЭХАР, НТП и криотехноло-

гии 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.

В границах выполненных экспериментов были решены следующие задачи: снижение ОМЧ составляет от 2 до 10 раз, продление срока годности - от 1 до 3 сут, в зависимости от используемого сырья, типа ЭХАР, способа обработки и хранения. Разработанные приемы не приводят к ухудшению органолептических показателей качества, а в случае с обработкой ЭХАР сырья животного происхождения, напротив, происходит усиление запаха, свойственного свежему мясу. Дополнительно можно отметить, что отсутствие необходимости смыва ЭХАР в отличие от других средств обеспечивает снижение расходов предприятия на 20 %.

Резюмируя, можно сделать заключение, что проведенные эксперименты подтверждают необходимость использования ЭХАР в пищевой промышленности и позволяют рекомендовать к внедрению данную технологию обработки на предприятиях общественного питания для обеспечения безопасности и продления срока годности продукции.



## ГЛАВА 6 ОБОСНОВАНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ТРЕБУЕМЫХ ПОТРЕБИТЕЛЬСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ ПРИ ХРАНЕНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ СУБЛИМАЦИОННОЙ СУШКИ И ЭСО

### 6.1 Развитие вакуумной сублимационной сушки спектра термолабильных материалов

*Ягоды с длительным сроком хранения.* На сегодняшний день вакуумная сублимационная сушка (ВСС) представляет собой самый совершенный метод консервирования и является перспективным направлением научных исследований. Метод ВСС позволяет сохранять высокие вкусовые качества и питательную ценность пищевых продуктов до 5 лет при нерегулярных температурах (от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+50^{\circ}\text{C}$ ).

Процесс сублимационной сушки по своей природе представляет собой обезвоживание замороженного материала в результате перехода вещества (льда) из твердого состояния в газообразное, минуя жидкую фазу. В медицине и биотехнологии его называют «лиофильная сушка», поскольку в итоге получают лиофильные, т.е. легкорастворимые вещества.

Технология ВСС требует знания свойств объектов сушки. Преимущества технологии и продуктов сублимации: высокая степень сохранности витаминов, белковых комплексов, органолептических показателей качества, в том числе при длительном хранении в нерегулируемых температурных условиях; сокращение удельных транспортных расходов за счет малого удельного веса продукции; возможность организации полноценного питания групп населения, работающего в труднодоступных условиях.

К недостаткам ВСС относятся сравнительно высокая цена сублимированных продуктов, вызванная высокими требованиями к качеству и высокими энергозатратами; хранение в герметичной упаковке.

Крупные заводы по производству сублимированных продуктов функционируют в США, Бразилии, Германии, Франции, Италии, Китае, при этом ассортимент готовой продукции насчитывает десятки наименований и постоянно расширяется. В последнее десятилетие производство сублиматов активно развивается и в России.

Кондитерские изделия являются популярным традиционным десертом, пользующимся все более возрастающим спросом у населения. В современных рецептурах этой продукции широкое распространение приобретают кондитерские изделия, в состав которых включены фрукты и ягоды, либо поверхность которых украшена свежими ягодами или кусочками фруктов.

Использование сырья растительного происхождения не только повышает их внешнюю привлекательность, но и снижает общую калорийность кондитерского изделия, позволяет в значительной мере обеспечить организм витаминами. При всех достоинствах плодово-ягодного сырья, оно обладает сезонностью и имеет ограниченные сроки хранения.

В качестве альтернативы свежему сырью широко применяют фрукты и ягоды в замороженном состоянии. Однако процесс замораживания неизбежно сопровождается ухудшением внешнего вида после дефростации замороженной продукции и значительной потерей полезных веществ. В связи с чем, разработка технологии кондитерских изделий с ягодами длительного срока хранения является необходимой и остро востребованной.

В настоящее время в России и за рубежом широкое применение получает новый высокотехнологичный способ обеспечения длительной сохранности плодово-ягодного сырья методом вакуумной сублимационной сушки. Технология включает этап предварительного замораживания с последующим удалением вымороженной влаги в вакууме фазовым переходом «лед-пар». Получаемые продукты с низкой конечной влажностью (порядка 1,5-2 %) имеют высокий уровень сохранности

термолабильных компонентов и органолептических показателей. Технология отдельного вида продуктов имеет особенности, обусловленные как комплексом его исходных свойств, так и назначением готового продукта, заданным сроком его хранения.

В настоящей работе на первом этапе проведена ВСС свежих ягод клубники и малины. Ягоды замораживали в противнях в морозильной камере при температуре  $-25^{\circ}\text{C}$  и интенсивной циркуляции. Сушку проводили при температуре ягод на этапе сублимации  $-20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$ , досушку - при максимальной температуре в центре продукта  $40^{\circ}\text{C}$ . Исследования проводили на стенде экспериментальной установки СВП-0,36, представленном на рисунке 52.

Технические данные приведены в таблице 39 [Семенов, 2013].

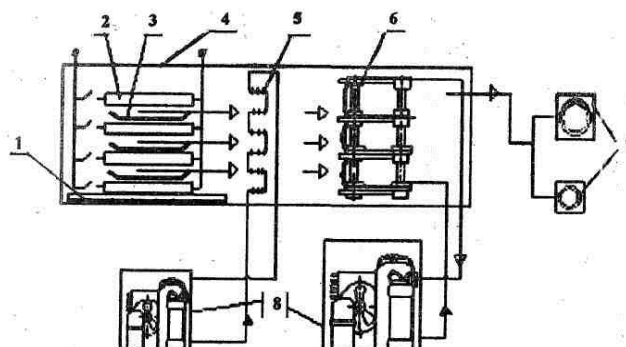


Рисунок 52 – Лабораторный комплекс СВП-0,36 (слева) и принципиальная схема сублимации, где 1 - тензвесы; 2 - нагревательные элементы; 3 - противни с продуктом; 4 - сублимационная камера; 5 - конденсатор; 6 - десублиматор; 7 - вакуумные насосы; 8 - холодильные машины

Таблица 39 – Основные технические параметры комплекса СВП-0,36

№	Наименование показателей	Технические данные
1	Производительность по испаренной влаге, кг/цикл	до 3,5
2	Общая площадь рабочих полок (4 шт.), м <sup>2</sup>	0,48
3	Температура нагрева электронагревателей, °С	до 200
4	Температура охлаждения плит десублиматора, °С	до -40
5	Мощность, потребляемая установкой, кВт	до 8,3
6	Длительность технологического цикла, ч	Любая, в зависимости от объекта сушки

Важнейшими параметрами, определяющими уровень качества высушенных материалов и энергозатраты на влагоудаление, являются температура сублимации и уровень нагрева. Эти параметры в первую очередь зависят от комплекса теплофизических характеристик объектов высушивания.

*Определение температуры сублимационной сушки ягод.* Многочисленными исследованиями [Рогов, 1998; Семенов, 2013; Ciurzyńska, 2010; Venkitasamy, 2017] выявлено, что уровень качества сублимированных продуктов будет тем выше, чем при более низкой температуре будет осуществляться влагоудаление фазовым переходом «лед-пар». По мере понижения температуры продукта в сушильной камере, все большая доля влаги от ее общего содержания в продукте переходит в замороженное состояние и удаляется именно фазовым переходом «лед-пар», формируя пористый каркас. Оставшаяся часть влаги в продукте удаляется преимущественно со стенок микрокапилляров на заключительном этапе досушки испарением. Практический интерес на основе обзора литературы для растительного сырья представляет диапазон температур сублимации, равный -  $20^{\circ}\text{C}+2^{\circ}\text{C}$ .

*Определение температуры максимального нагрева ягод.* Длительность любого процесса сушки, в том числе и ВСС, будет тем короче, чем до более высоких температур будет нагрет высушиваемый материал. Ограничивающим фактором допустимой температуры нагрева является уровень качества высушиваемого материала, зависящий от термической стабильности компонентов сырья (белки, витамины, антиоксиданты и др.).

Допустимая температура максимального нагрева, как правило, не должна превышать  $40^{\circ}\text{C}$ , поскольку при повышении температуры до  $60^{\circ}\text{C}$  и выше показатели качества снижаются: наблюдаются тепловые повреждения продукта, значительно уменьшается содержание сахаров, витаминов, особенно витамина С, антиоксидантов, происходят потери ароматических веществ [Семенов, 2013]. Таким образом, принимали температуру максимального нагрева  $40^{\circ}\text{C}$ .

Общая длительность процесса сушки составила 14 ч для каждого вида сырья: клубники, малины. Характерная термограмма сушки представлена на рисунке 53, где продукт 1 – клубника, продукт 2 – малина.

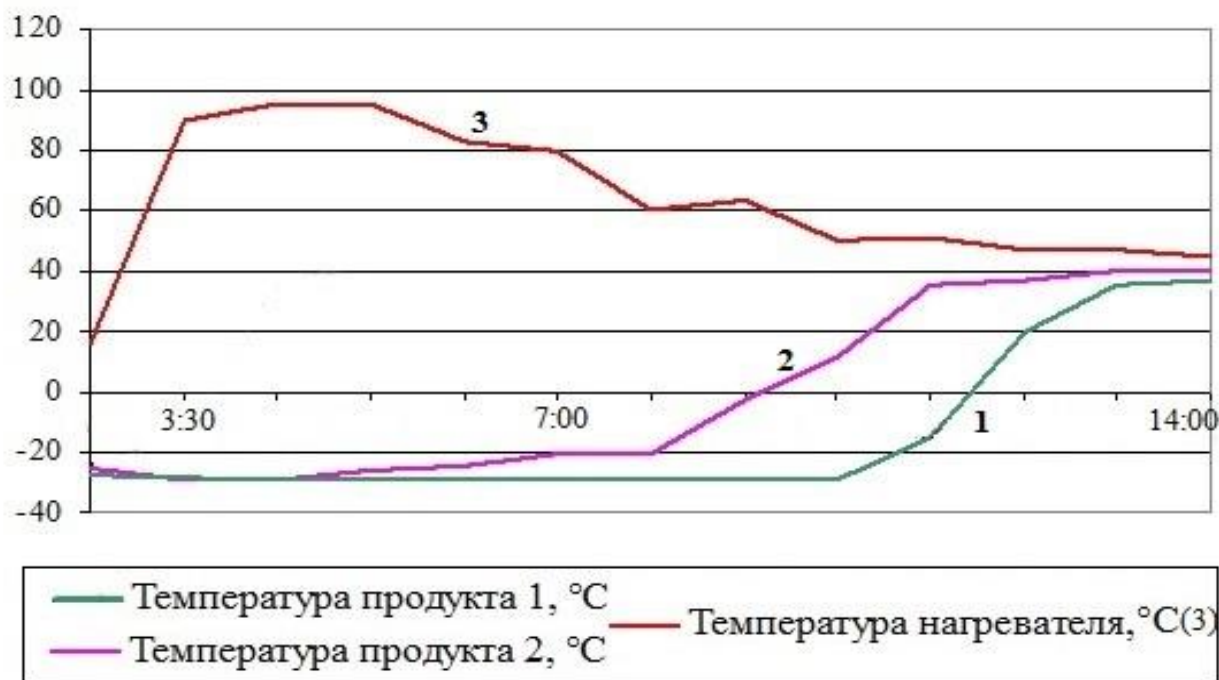


Рисунок 53 – Изменение температуры продуктов в процессе сублимации

Как видно из рисунка, выбранный режим сублимации предполагает относительно невысокие температуру и время выдержки в процессе сушки, способствующие сохранению термолабильных компонентов. Готовые высушенные ягоды представляют собой сухие, обезвоженные ягоды, сохранившие форму, цвет, запах и вкус.

При исследовании ягод, полученных методом сублимационной сушки, основными показателями, характеризующими их качество, являются: антиоксидантная активность, содержание витамина С, коэффициент сублимации, влажность сухого продукта, время восстановления и органолептические показатели, а также степень их изменения под влиянием ВСС.

*Определение антиоксидантной активности и изменений массовой доли витамина С в процессе сублимации* осуществляли при помощи комплекса «Эксперт-006» (Россия). Концентрация антиоксидантных веществ (АВ) в свежей клубнике составила 448 мг/г, в сублимированной ягоде – 385 мг/г. Для свежей малины зна-

чение концентрации антиоксидантных веществ – 205 мг/г, для сублимированной – 178 мг/г (рисунок 54).

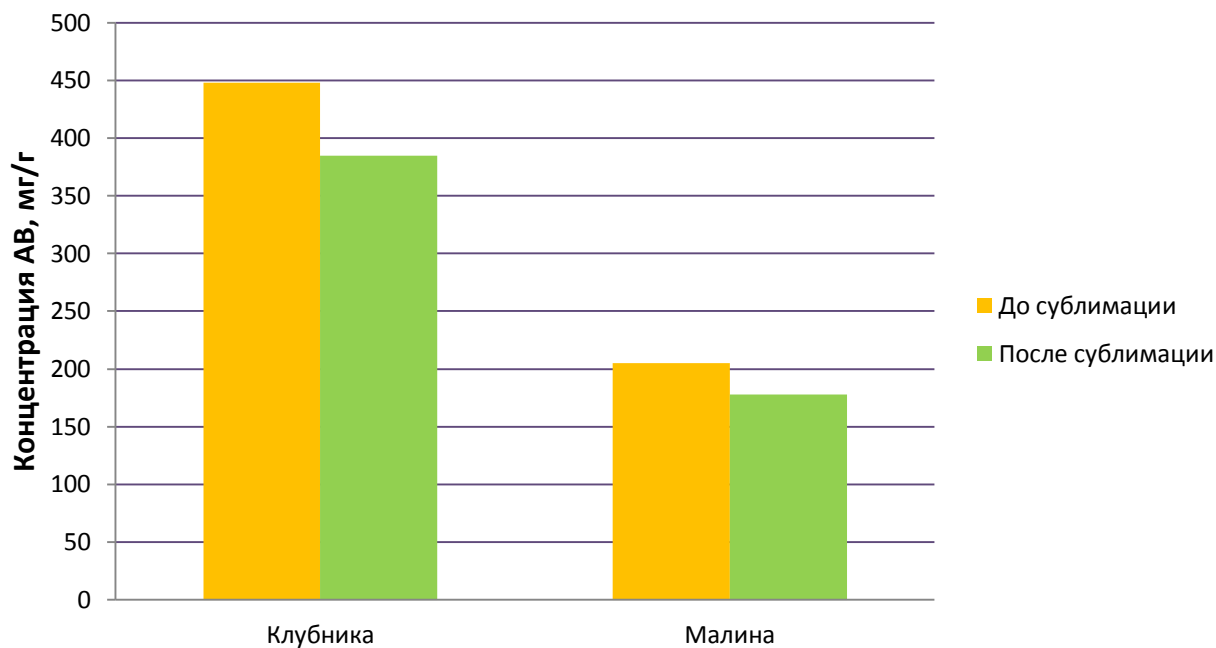


Рисунок 54 – Результаты определения антиоксидантных свойств ягод до и после сублимации

Установлено снижение антиоксидантной активности на 13-15 % после сублимации, потери витамина С составили 13-15 %. На рисунке 55 представлены результаты исследования влияния ВСС на сохраненность витамина С.

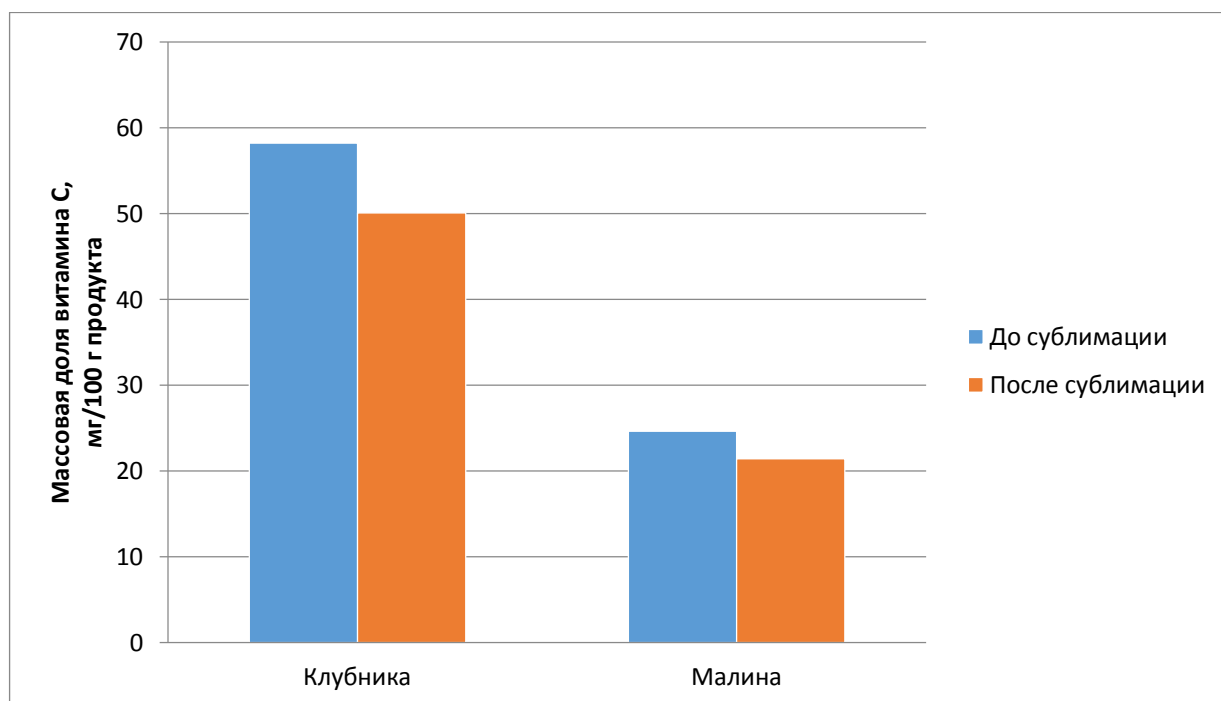


Рисунок 55 – Массовая доля витамина С до и после сублимации

Доля витамина С, содержащегося в 100 г восстановленного продукта, представлена в таблице 40.

Таблица 40 – Доля витамина С в ягодах до и после сушки

Доля витамина С	Массовая доля витамина С в 100 г продукта, мг	
	Клубника	Малина
До сублимации	58,2	24,6
После сублимации	50,1	21,4

*Определение конечной влажности сублимированных ягод* рассчитывали как отношение массы сублимированного продукта к массе свежего сырья. Массовая доля влаги в сухих ягодах составила 1,5 % и для клубники, и для малины. Данное значение соответствует техническим требованиям к сублимированным продуктам и позволяет говорить о рационально подобранном режиме сублимации.

*Определение коэффициента сублимации.* Уменьшение веса продукта за счет удаления из него воды - важное свойство сублимации. Именно оно делает сублимированные продукты привлекательными для использования в индивидуальных рационах военных и спасателей. Коэффициент сублимации, рассчитанный как соотношение массы исходного продукта к массе сублимированного, для используемого сырья был равен 11. Данный коэффициент использовался в дальнейших исследованиях при восстановлении сухого продукта.

*Органолептическая оценка сублимированных ягод.* Высушенные ягоды после сублимации сохранили свой цвет. При обводнении сухие продукты быстро набухали и восстанавливали свою первоначальную массу и консистенцию. Восстановление продукта производили питьевой водой (20°С) по найденному коэффициенту сублимации, контролируя соответствие значений плотности и массовой доли сухих веществ значениям исходных соков. Результаты исследования показали, что время полного восстановления ягод составляет 5-7 мин.

По показателям вкуса, цвета и консистенции ягоды клубники и малины, восстановленные после сублимации, не отличались от исходных. Незначительное изменение аромата клубники связано с потерей летучих веществ, произошедшей в процессе сублимации. Изображение свежей и сублимированной клубники приведено на рисунке 56.



Рисунок 56 – Внешний вид клубники до (слева) и после сублимации

*Определение сроков годности сублимированных ягод* осуществляли при хранении в течение 160 сут. В качестве основных характеристик были выбраны массовая доля витамина С, массовая доля влаги и органолептические характеристики. Результаты исследования представлены в таблице 41.

Таблица 41 – Изменение сублимированной клубники и малины в процессе хранения

Продолжительность хранения, сутки	Массовая доля витамина С, мг/100 г		Массовая доля влаги, %	
	клубника	малина	клубника	малина
0	50	22	1,5	1,5
80	48	21	1,6	1,7
160	44,5	19,6	1,8	1,9

На всем протяжении срока хранения не зафиксировано изменение органолептических свойств ягод. Потери витамина С составили 11 % (рисунок 57).



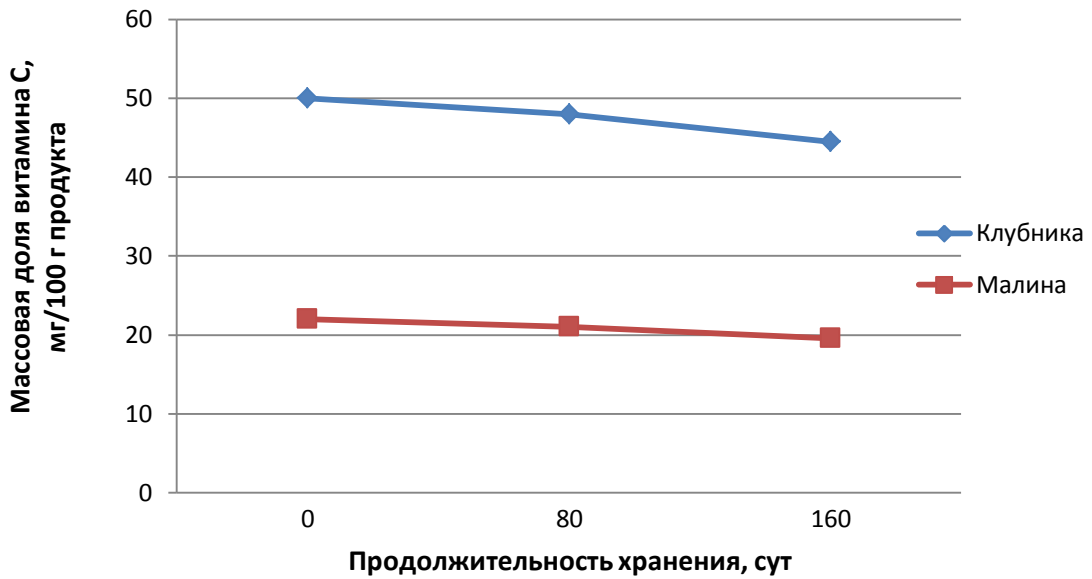


Рисунок 57 – Изменение массовой доли витамина С в процессе хранения

В процессе хранения произошло незначительное увеличение массовой доли влаги продукта (рисунок 58). Вероятно, это связано с недостатками тары, в которой хранилось сублимированное сырье.

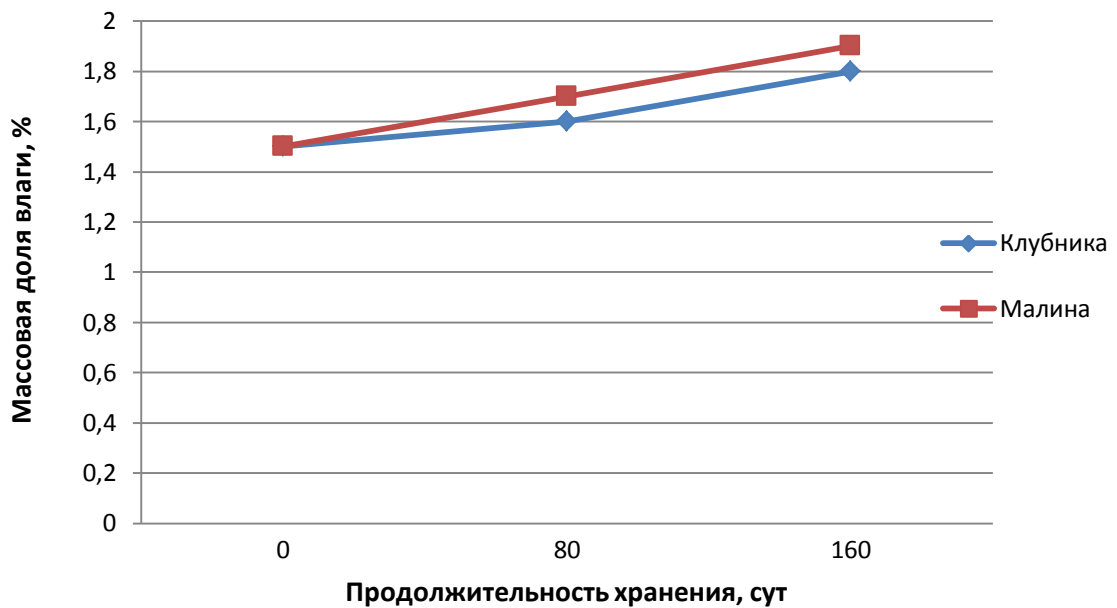


Рисунок 58 – Изменение массовой доли влаги в продукте в процессе хранения

В результате исследований выбраны рациональные параметры процесса сушки, определены сроки годности и показатели качества сублимированных ягод, а именно: антиоксидантная активность, массовая доля витамина С, влажность ко-

нечного продукта. Рассчитан коэффициент сублимации, проведена органолептическая оценка сублимированных ягод. С учетом коэффициента пересчета срок годности продукта составляет 28 месяцев при температуре 5-25°C. На рисунке 59 представлен внешний вид восстановленных ягод клубники и малины.

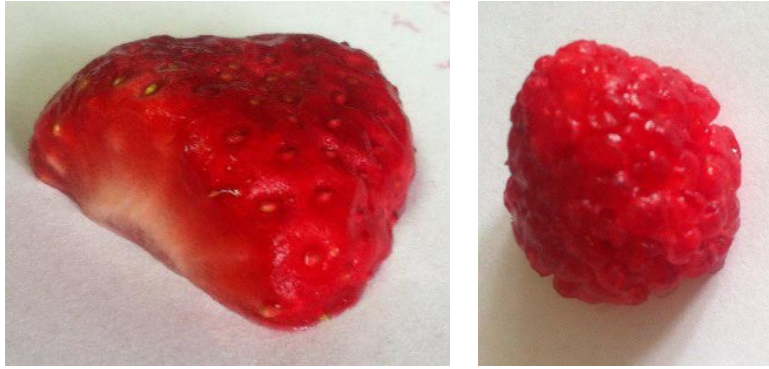


Рисунок 59 – Внешний вид восстановленной клубники (слева) и малины

В условиях кондитерского предприятия (ТМ Дакуаз - Dacquoise, Россия) была проведена апробация результатов экспериментальных исследований. Сублимированные ягоды применяли в качестве наполнителей для шоколада, ингредиентов для теста, украшения готовых изделий: шоколад с клубникой и малиной, печенье «Макаронс» (Macarons) Grand шоколадно-малиновые, «Макаронс» Classic с малиной, Торты-макарони и др. Разработана технико-технологическая карта «Капкейки ванильные с малиной». При органолептической оценке полученных изделий продемонстрированы высокие показатели качества. Представляется возможным использование вместо свежего сырья сублимированных ягод для продления сроков годности готовых кондитерских изделий.

Кроме того, усовершенствована технология приготовления напитков с использованием сублимированного ягодного сырья. Разработаны технико-технологические карты на напитки «Ягодный коктейль», «Черничный».

Одним из критериев изменения качества пищевых продуктов при их консервировании служит активность воды (отношение способности испарения воды из раствора к испарению чистой воды при одинаковой температуре). В таблице 42 приведены результаты определения влажности ягод и активности воды до и после сублимации.

Таблица 42 – Влажность ягод и активность воды до и после сублимации

Объект сушки	Показатели			
	Влажность, %		Активность воды	
	начальная	после сублимации	начальная	после сублимации
Клубника	88,0	9,85	0,992	0,361
Вишня	85,0	10,03	0,990	0,548
Красная смородина	85,4	10,01	0,899	0,532
Черная смородина	86,0	10,01	0,991	0,536
Черника	86,5	10,00	0,995	0,542

Литературные данные и полученные результаты свидетельствуют о том, что при снижении активности воды в продукте усиливается отличие его свойств от таковых исходного сырья и повышается устойчивость продукта при хранении. Определено, что повышение контаминации микроорганизмами происходит при значении активности воды 0,99-0,62.

Характеристика сублимации ягод приведена в таблице 43.

Таблица 43 – Режимные параметры сушки ягод

Объект сушки	$\varphi_n$ , %	h, мм	$t_{зм}$ , °С	$t_c$ , °С	$t_d$ , °С	$T_k$ , ч	$\varphi_k$ , %
Клубника	88,0	10-15	-21±2	-20±5	37-45	8-12	3-4
Вишня	85,0	7-10	-21±2	-20±5	37-45	8-12	3-4
Красная смородина	85,4	5-8	-21±2	-20±5	37-45	8-12	3-4
Черная смородина	86,0	5-8	-21±2	-20±5	37-45	8-12	3-4
Черника	86,5	5-8	-21±2	-20±5	37-45	8-12	3-4

$\varphi_n$  и  $\varphi_k$  – начальная и конечная влажность, %; h – толщина слоя продукта, мм;  $t_{зм}$  – конечная температура на этапе замораживания, °С;  $t_c$ ,  $t_d$  – температура в продукте на этапах сублимации и досушивания, соответственно, °С;  $T_k$  – общая длительность сушки, ч.

На основе органолептических данных и с учетом взаимозаменяемости сырья в соответствии со Сборником рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания были разработаны рецептуры, указанные в таблицах 44-45.

Таблица 44 – Рецепт напитка «Черничный»

№	Наименование сырья	Брутто, г	Нетто, г
1	Ягоды черники (сублимированные)	15	15
2	Мед натуральный	30	30
Выход полуфабриката			45
Масса готового напитка			500

Таблица 45 – Рецепт напитка «Ягодный коктейль»

№	Наименование сырья	Брутто, г	Нетто, г
1	Смесь сублимированных ягод (клубника, вишня, черная и красная смородина) в соотношении 1:1:1:1	20	20
2	Мед натуральный	30	30
Выход полуфабриката			50
Масса готового напитка			500

*Сублимированное мясо и фарш.* Определены режимы сублимации сырья и разработаны новые блюда «Каша гречневая с сублимированной говядиной», «Каша гречневая с сублимированной свиной», «Каша гречневая с сублимированным свиным фаршем».

Технологический процесс приготовления блюда включал в себя следующие операции: отбор, сортировка и подготовка сырья; замораживание; сублимационная сушка; выгрузка, контроль и упаковка продуктов.

В период сублимационной сушки температура продуктов в центре слоя находилась в пределах от -10 до -30 °С. Известно, что при температуре минус 20-25°С в продуктах питания проявляется вымораживание влаги на 80-85 %, что повышает их качество.

Изменение веса существенно влияет на транспортировку и сохранность продуктов питания. В приведенной ниже таблице 46 отражено изменение веса в ходе процесса сублимационной сушки и время, необходимое на восстановление продуктов.

Таблица 46 – Изменение веса в процессе сублимационной сушки

Наименование продукта	Вес, г		Время восстановления, мин.
	До сублимации	После сублимации	
Мясо свиное жаренное	460	108	90
Мясо говяжье жаренное	380	97	100
Фарш свиной жаренный	374	66	40

В исследовании по восстановлению была использована вода комнатной температуры, для более быстрого процесса регидратации можно использовать воду 60-70 °С. Восстановленные продукты сохранили свои органолептические свойства (вкус, цвет, запах, внешний вид). Регидратация реализована в соотношении 1:3, т.е. на 100 г продукта необходимо 300 см<sup>3</sup> воды.

В таблице 47 приведены результаты определения влажности мяса и активности воды до и после сублимации.

Таблица 47 – Влажность мяса и активность воды до и после сублимации

Объект сушки	Показатели			
	Влажность, %		Активность воды	
	начальная	после сублимации	начальная	после сублимации
Мясо свиное	72,0	8,46	0,996	0,353
Мясо говяжье	69,0	9,03	0,992	0,561
Фарш свиной	67,6	9,01	0,887	0,346

Различие показателей между значениями до и после сублимации статистически достоверно. Температурный предел устойчивости при нагревании для пи-

щевых продуктов животного происхождения составляет 40-50°С, а для продуктов растительного происхождения - 35-40 °С. В таблице 48 приведены режимные параметры сушки мяса и фарша.

Таблица 48 – Режимные параметры консервирования мяса и фарша сублимацией

Объект сушки	$\varphi_n$ , %	h, мм	$t_{зм}$ , °С	$t_c$ , °С	$t_d$ , °С	$T_k$ , ч	$\varphi_k$ , %
Мясо свиное	72	10-15	-22±2	-18±2	45-55	10-12	1,7-2,5
Мясо говяжье	69	10-15	-22±2	-18±2	45-55	10-12	1,7-2,5
Фарш свиной	67,6	10-15	-22±2	-18±2	45-55	10-12	1,7-2,5

$\varphi_n$  и  $\varphi_k$  – начальная и конечная влажность, %; h – толщина слоя продукта, мм;  $t_{зм}$  – конечная температура на этапе замораживания, °С;  $t_c$ ,  $t_d$  – температура в продукте на этапах сублимации и досушивания, соответственно, °С;  $T_k$  – общая длительность сушки, ч.

На основании полученных органолептических, физико-химических и микробиологических данных и с учетом взаимозаменяемости была разработана рецептура, указанная в таблице 49.

Таблица 49 – Рецептура на блюдо «Каша гречневая с сублимированным мясом»

№	Наименование сырья	Брутто, г	Нетто, г
1	Гречневая крупа	80	140
2	Мясо говядины жаренное	160	100
3	Мясо свинины жаренное	142	100
4	Фарш свиной жаренный	134	100
5	Соль	10	10
Масса готового блюда		-	250

Таким образом, проведенные исследования доказывают возможность эффективного применения сублиматов в общественном питании при производстве блюд с продленным сроком хранения.

На новые блюда разработаны технико-технологические карты: «Каша гречневая с сублимированной говядиной», «Каша гречневая с сублимированной свининой», «Каша гречневая с сублимированным свиным фаршем».

## 6.2 Электростатическая обработка полуфабрикатов, готовых блюд, водных растворов и жидких продуктов

Биологическая безопасность и экологичные технологии имеют приоритетное значение в пищевой промышленности на всех этапах создания полуфабрикатов и готовых блюд. Для решения данной проблемы существуют различные способы обработки. К наиболее эффективным технологиям можно отнести процессы обработки пищевых продуктов, которые основаны на внешних электрофизических воздействиях на объекты [Кузнецов, 2017; Колесников, 2019].

Метод обработки пищевых продуктов электростатическим полем (ЭСП) основан на способности ионизированного газа передавать заряд тонкодисперсным частицам вещества. Для снижения рисков контаминации полуфабрикатов и готовых блюд необходимо разработать устройство и технологию их бесконтактной обработки. В процессе такой обработки образуется ЭСП высокой напряженности, которое, как предполагается, нарушает целостность мембран, и, вместе с образующимся озоном обеспечивает снижение рисков микробиологической контаминации продуктов питания.

В работе установлены причины потери качества продукта, определены методы, применяемые для продления его сроков годности, разработаны технологические схемы и конструкции установок для бесконтактной ЭСО среды при производстве полуфабрикатов, готовых блюд и водных растворов. Определены потенциальные возможности данной технологии, реализованы наиболее удачные теоретически обоснованные конструкции.

*Создание опытных установок. Обработка полуфабрикатов и готовых блюд.* Для решения задач обеспечения безопасности и пролонгации сроков хранения продукции разработана конструкция инновационной несерийной установки для ЭСО. Определены рациональные режимы использования ЭСО для обеспече-

ния биологической безопасности, вероятно, вследствие образования кислородсодержащих соединений, подавляющих развитие контаминации.

Установлено, что после термической обработки продуктов на этапе остывания возникает опасность микробиологического заражения готового блюда или полуфабриката, так как создаются благоприятные условия для роста микроорганизмов (оптимальная температура, наличие питательной среды). Предложены технологическая схема и конструкция установки ЭСО продукта после приготовления и перед заморозкой, которые могут быть использованы при организации общественного питания в ресторанах, кафе, столовых, предприятиях быстрого обслуживания, заготовочных цехах и других объектах, в том числе расположенных на территории промышленных объектов, различных учреждений, на транспорте и т.д. Выявлено, что можно обрабатывать как сырье и полуфабрикаты, так и всё блюдо, что актуально при потреблении на месте и при доставке.

Для создания программируемой воздушной среды (состав микробиоты), по своим характеристикам близкой к стерильной, создан стенд, принципиальная схема которого приведена на рисунке 60. В результате образуемого между пластинами ЭСП происходила обработка воздуха с образованием аэроионов [Кузнецов, 2017]. Для предотвращения микробиологического заражения продукта через гидрозатвор использовали разрешенное для индустрии питания дезинфицирующее, технологическое вспомогательное средство - анолит с концентрацией 100 мг/дм<sup>3</sup> по активному хлору.

Для обработки и охлаждения готового блюда предложено обрабатывать снятый с плиты продукт подключением блока непосредственно в крышку (рисунок 61), тем самым обеспечивая изоляцию продукта и его аэроионизационную обработку посредством воздействия энергии ЭСП на воздушную среду. 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.



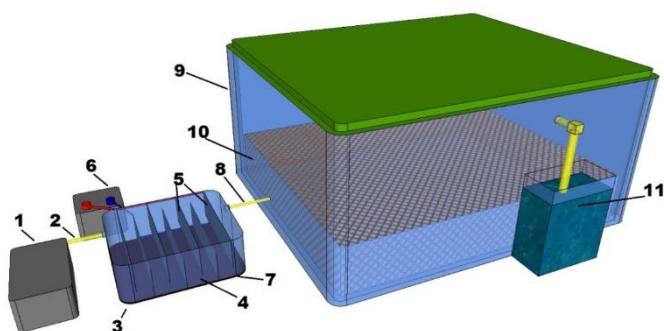


Рисунок 60 – Принципиальная схема устройства для обеспечения безопасности полуфабрикатов и блюд, где 1 - компрессор; 2, 8 - подающий и отводящий трубопроводы; 3 - ячейка; 4 - корпус; 5 - пластины; 6 - источник напряжения; 7 - ребристая намагниченная пластина; 9 - контейнер; 10 - сетчатая решетка; 11 - гидрозатвор



Рисунок 61 – Установка для ЭСО продукции общественного питания, где 1 - источник высокого напряжения; 2 - компрессор; 3 - блок ЭСО; 4 - образец блюда в сковороде с крышкой с клапаном

Влияние ЭСП на живые организмы остается малоизученной областью. В работе проведены исследования воздействия ионизации электростатическим полем воздуха на готовое блюдо на примере горячего блюда «Лангет с помидорами». По итогам экспериментов разработаны технологическая схема и конструкция лабораторной установки ЭСП для ионизации воздуха с целью снижения активности микроорганизмов, препятствия развитию спор и ускорения процесса остывания при производстве готового блюда «Лангет с помидорами» перед его замораживанием.

Горячее блюдо сразу после приготовления помещается в закрытую камеру, снабженную двумя вентиляторами (вдувным, выдувным). Между вдувным вентилятором и корпусом установлен блок перфорированных пластин, подключённых к источнику высокого постоянного напряжения. Прогоняя воздух через блок, вентилятор нагнетает электростатически обработанный воздух в камеру, который забирает часть тепла (ускоряя процесс остывания) и частично подавляет споры и микроорганизмы, находящиеся в воздухе. Блок является барьером между внешней средой и камерой с приготовленным изделием. Выдувной вентилятор ускоряет процесс отвода тепла и отработанного воздуха.

Для проведения опыта были приготовлены 14 образцов лангета с помидорами, каждый из которых помещался в камеру, для которых устанавливалось разное напряжение и время. Параметры проведения эксперимента приведены в таблице 50.

Таблица 50 – Параметры проведения эксперимента

Нумерация образцов	Время, мин	Период криохранения, сут		Напряженность, кВ/м
		1	7	
1 (контроль)	0	1	7	0
2	5	1	7	20
3	5	1	7	200
4	5	1	7	80
5	3	1	7	80
6	15	1	7	80
7	10	1	7	80

После обработки в электростатическом поле (ЭСП) при разном времени обработки и разной напряженности ЭСП и последующем хранении в морозильной камере при температуре  $-17^{\circ}\text{C}$  в течение одних и семи суток был проведен микробиологический анализ образцов. В таблицах 51-52 и на рисунке 62 представлены результаты исследования воздействия ЭСО и заморозки на блюдо «Лангет с помидорами».

Таблица 51 – Результаты анализа при разной напряженности ЭСП

Номер образца (срок хранения 7 сут)	Число колоний, КОЕ/см <sup>3</sup>	Номер образца (срок хранения 1 сутки)	Число колоний, КОЕ/см <sup>3</sup>	Время проведения эксперимента, мин	Напряженность ЭСП, кВ/м
1	400	1	6000	0	0
2	50	2	2000	5	20
4	600	4	4000	5	80
3	6000	3	3000	5	200

Таблица 52 – Результаты анализа при разном времени обработки

Номер образца (срок хранения 7 сут)	Число колоний, КОЕ/см <sup>3</sup>	Номер образца (срок хранения 1 сут)	Число колоний, КОЕ/см <sup>3</sup>	Время проведения эксперимента, мин	Напряженность ЭСП, кВ/м
1	400	1	6000	0	0
5	50	5	2000	3	80
4	600	4	4000	5	80
7	100	7	400	10	80
6	50	6	4500	15	80

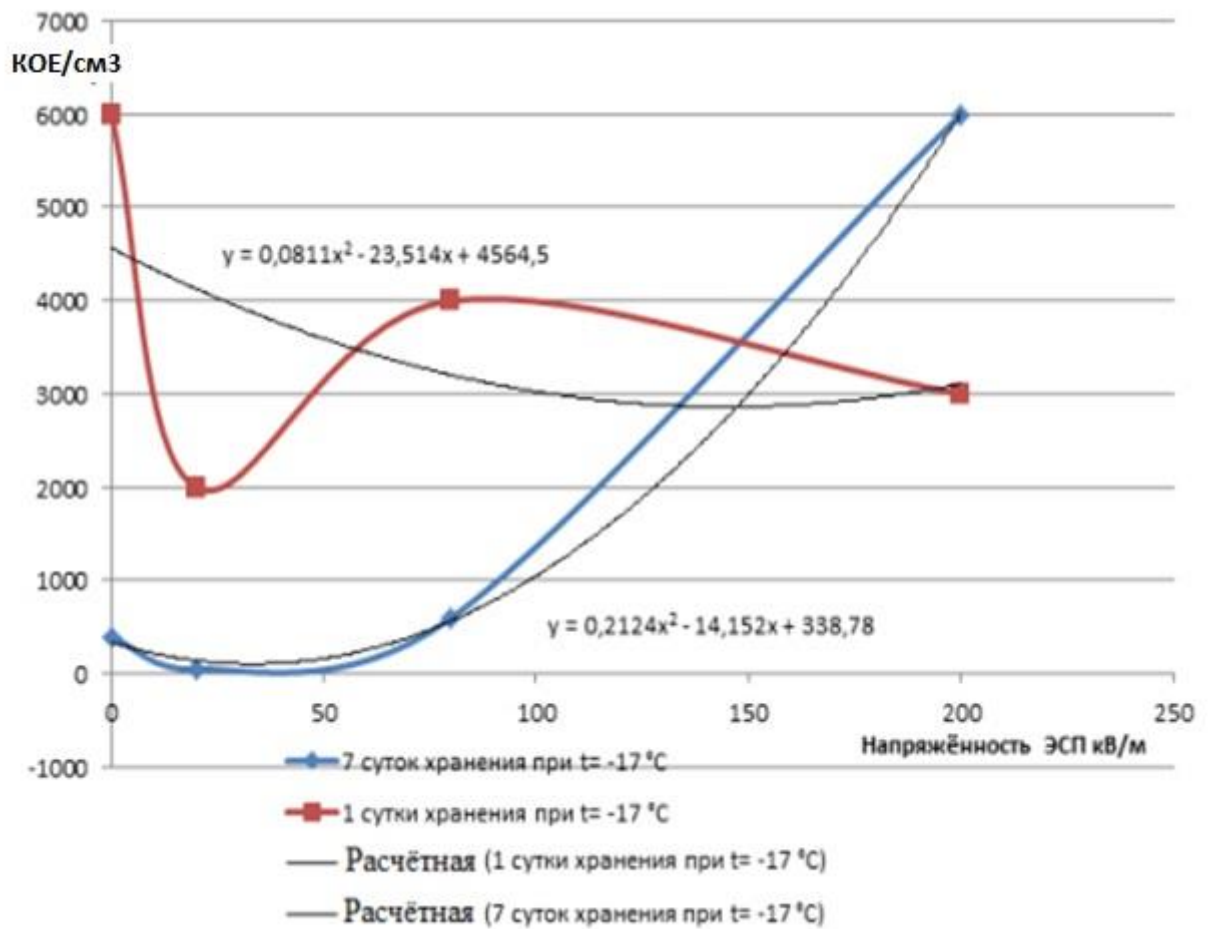


Рисунок 62 – Влияние напряженности ЭСП на КОЕ при обработке готового блюда

Характер процесса воздействия описывается следующими формулами: для хранения в течение 1 сут  $y = 0,0811x^2 - 23,514x + 4564,5$ , в течение 7 сут  $y = 0,2124x^2 - 14,152x + 388,78$ , где  $x$  - напряженность ЭСП (кВ/м),  $y$  - обсемененность (КОЕ/см<sup>3</sup>). С увеличением напряженности ЭСП постепенное подавление микрофлоры на поверхности готового продукта наблюдалось у образцов, хранившихся при температуре -17°C в течение 1 сут, а при хранении в течение 7 сут наблюдался значительный рост КОЕ.

Таким образом, при малых сроках криохранения максимальная безопасность готового блюда обеспечивается ЭСП перед заморозкой с напряженностью более 100 кВ/м, а при криохранении 7 сут и более напряженность ЭСП не должна превышать 80 кВ/м.

Анализируя процесс приготовления блюда установлено, что после термической обработки продуктов на этапе остывания возникает потенциальная опасность микробиологического заражения готового блюда или полуфабриката, так как создаются благоприятные условия для роста микроорганизмов. Для предотвращения попадания микроорганизмов в готовое блюдо или полуфабрикат необходимо обеспечить максимальное быстрое предварительное остывание с минимальным контактом с внешней средой, в которой могут находиться споры микроорганизмов, особенно при наличии возможного контакта с сырыми полуфабрикатами (сырое мясо, свежие овощи).

Разработанная на основе полученных результатов технологическая схема и конструкция установки для обработки готовых блюд и полуфабрикатов может быть использована при организации питания всех типов предприятий индустрии. 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 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/см<sup>3</sup>).

Разработанный и успешно испытанный ряд опытных установок защищен 3 патентами, для обеспечения безопасности полуфабрикатов и готовых блюд (патент № 173521) на примере гарниров и блюд (рис, картофель, крупа, суп, котлета натуральная из филе птицы и др.), для обработки в ЭСП пищевых продуктов и водных растворов на предприятиях общественного питания (патент № 170224, рисунок 63), в пищевой и биотехнологической промышленности и при очистке сточных вод (патент № 163496, рисунок 64).

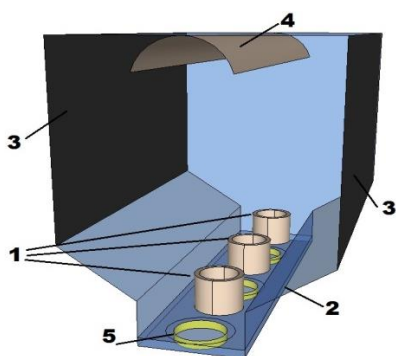


Рисунок 63 – Общий вид устройства для обработки в ЭСП жидких пищевых продуктов и водных растворов, где 1 - подающие патрубки-форсунки, 2 - корпус, 3 - разноименно заряженные пластины-электроды, 4 - перевернутый желоб, 5 - отводящие патрубки

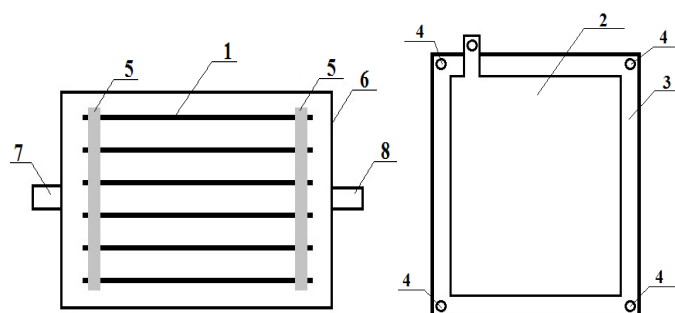


Рисунок 64 – Вид погружного электростатического активатора сверху и строение пластин (справа), где 1 - блок, 2 - разноименно заряженные металлические пластины, 3 - ток непроводящий полимер, 4 - технологические отверстия, 5 - ток непроводящие стержни, 6 - резервуар, 7 - входной трубопровод, 8 - отводящий трубопровод

*Обработка водных растворов и жидких продуктов.* Сточные и оборотные воды, образующиеся в процессах мойки плодоовощной продукции (в условиях овощеперерабатывающих предприятий, крестьянско-фермерских хозяйств), подвергаются механической очистке, не удаляющей полностью микроорганизмы, способные вторично контаминировать плодоовощную продукцию.

Расчет оборудования для очистки сточных вод от грубодисперсных примесей приведен в [Жуков, 2011]. Возможность реализации процесса обеззараживания сточных вод описано отечественными и зарубежными практиками с применением установок АКВАХЛОР-М (Россия). Применение ЭХА в технологиях очистки и обеззараживания воды подробно описано в [Бахир, 1999, 2005, 2014; Харламова, 2013], электролиза под давлением для деструктивного окисления фенола и азокрасителей - в [Харламова, 2016; Idris, 2002].

Необходимость, эффективность и механизмы обеззараживания технологических, оборотных и сточных вод как источника микробных патогенов различными физико-химическими методами обработки широко представлены в зарубежных статьях высокорейтинговых научных журналов [Anthony, 2007; Stewart-Wade, 2011; Oubrim, 2012; Raudales, 2014; Surendhiran, 2017; Ahn, 2018; Veeman, 2018; Millanar-Marfa, 2018; Moschopoulou, 2019].

Исследование воздействия ЭСП на водные растворы, содержащие сульфаты и хлориды тяжелых металлов, описано в [Никифорова, 2014], на степень активации биоценоза аэротенков в [Муссе, 2015]. В работе смоделирована конструкция опытно-промышленной установки, позволяющая обеспечить стабильную обработку ЭСП сточных и оборотных вод, с возможностью применения ЭХАР.

Отмечено, что при напряженности  $\vec{E}$  ЭСП 6-50 кВ/м в объеме накопительного резервуара происходило увеличение количества микроорганизмов не менее 10 % в большую сторону от исходных значений, при сравнении с контрольным образцом. Изменение концентрации кислорода в воде, прошедшей ЭСО ( $\vec{E}$  41,6 кВ/м), приведено на рисунке 65. При напряженности ЭСП 100-110 кВ/м микробиологическая обсемененность воды снижалась на 15-20 % при 30-секундной обработке. Изменение потребления кислорода связано с увеличением расхода питательных веществ, необходимых для развития клеток. Процесс очистки оборотной и сточной воды характеризуется изменениями следующих параметров: химическое потребление кислорода (ХПК) и биохимическое потребление кислорода в течение 5 сут (БПК<sub>5</sub>) (рисунок 66), а также азота ( $N_{\text{общее}}$ ) и фосфора ( $P_{\text{общее}}$ ).

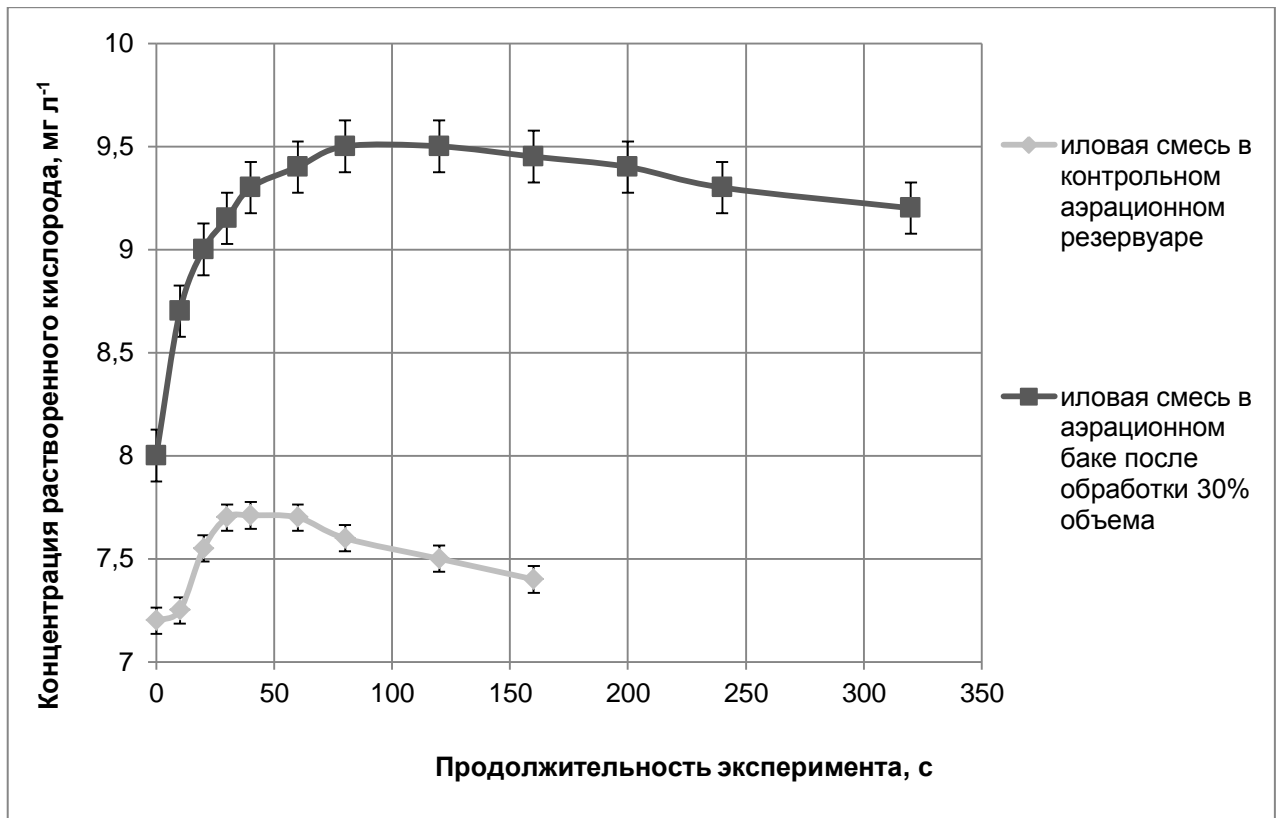


Рисунок 65 – Изменение концентрации кислорода в воде, прошедшей ЭСО ( $\vec{E}$  41,6 кВ/м)

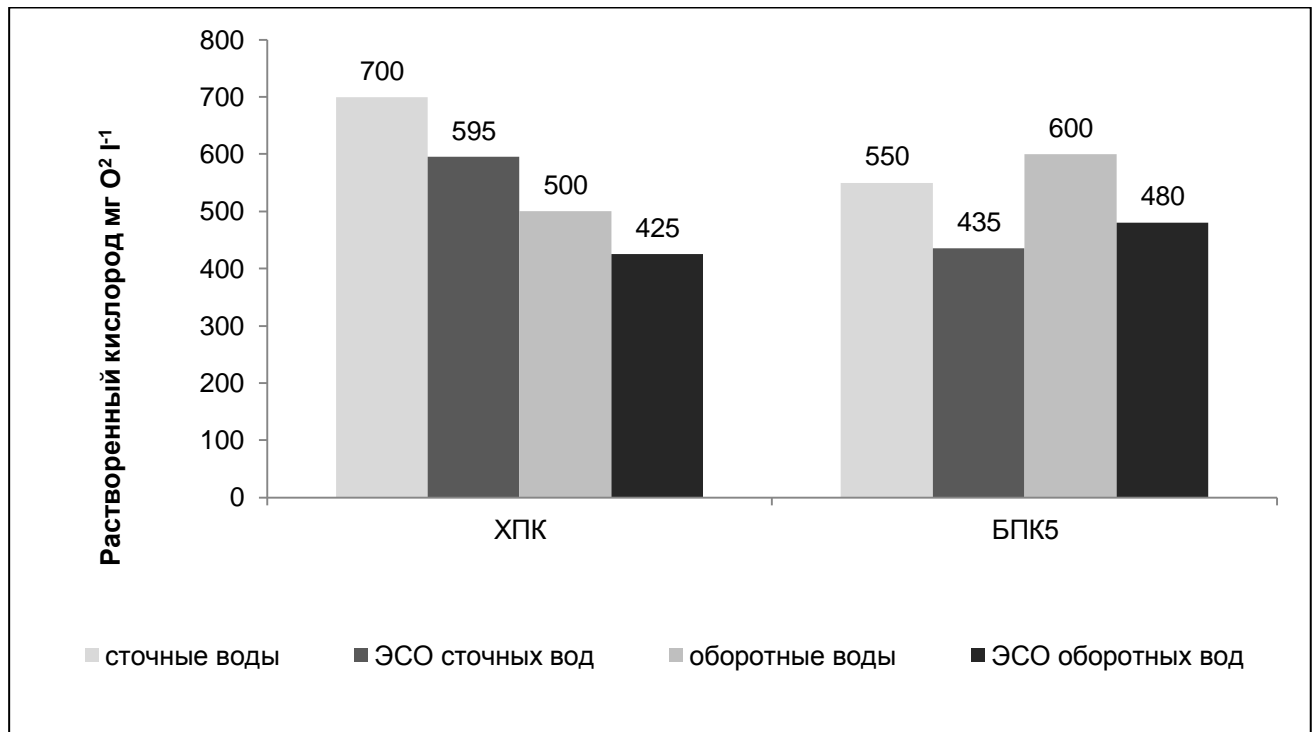


Рисунок 66 – Характеристика показателей ХПК и БПК<sub>5</sub> очистки сточных и оборотных вод

В присутствии ЭСП происходило изменение показателей ХПК и БПК<sub>5</sub> в сточных водах, характеризующих содержание неорганических и органических веществ в воде, которые под действием ЭСП, возможно, усваиваются микроорганизмами в качестве питательных веществ, тем самым увеличивая объемы иловой смеси. Данное предположение подтверждается динамикой изменения биогенных веществ. При заданных параметрах обработки содержание биогенных веществ снижается вне зависимости от наличия циркуляции в системе очистки, при этом, циркуляция обеспечивает более интенсивное протекание процессов очистки. Установлено, что ЭСО сточных и оборотных вод повышает эффективность очистки, снижая в среднем ХПК на 15 %, БПК<sub>5</sub> на 21 %. Снижение показателей  $N_{\text{общее}}$  составило 8 %;  $P_{\text{общее}}$  - 11 %.

В то же время, в отличие от ЭХА, технология ЭСО имеет ряд ограничений. Так, наличие грубых неотфильтрованных примесей может резко снизить эффективность ЭСО, что обусловлено рассеиванием ЭСП и запуском физико-химических процессов вокруг наиболее крупных частиц. Кроме того, ЭСП не обладает проникающим воздействием. Применение ЭХАР обеспечивало снижение значения ХПК до нормативных показателей при однократной обработке [Suvorov, 2018]. Таким образом, развитие исследований по комбинированию применения «зеленых» технологий позволит решить многие экологические проблемы, сохранить водные ресурсы и добиться стабильно высокого качества воды с меньшими затратами.

### 6.3 Заключение по шестой главе

В целях интенсификации технологических процессов и обеспечения качества и пищевой ценности продуктов питания при хранении используют воздей-



ствие различных электрофизических полей. В работе определены режимы и технологические особенности сублимирования свежих ягод (клубники и малины). Ягоды замораживали при температуре минус  $25^{\circ}\text{C}$  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  $5-25^{\circ}\text{C}$ ) составил 28 мес.

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

кратное применение ЭХАР обеспечивает снижение значения химического потребления кислорода до нормативных значений.

Показано, что ЭСО сточных и оборотных вод может повысить эффективность очистки по показателям химического потребления кислорода на 15 %, биохимического потребления кислорода в течение 5 сут на 21 %, азотсодержащих соединений на 8 %, фосфатов на 11 %. Исследования показали, что для ЭСО не требуется создания постоянного ЭСП, достаточно кратковременного воздействия.

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.

## ГЛАВА 7 РАЗРАБОТКА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ И ЭКОЛОГИЧНЫХ ПРИЕМОМ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ АПК И ИНДУСТРИИ ПИТАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ДЕЗИНТЕГРАЦИИ БИОПЛЕНКИ МИКРООРГАНИЗМОВ МЕТАСТАБИЛЬНЫМИ ОКСИДАНТАМИ

### 7.1 Предпосылки развития микробиологического заражения. Создание экологически чистой системы обеззараживания объектов индустрии питания

Образование биопленки микроорганизмов является значимым фактором риска в ряде областей производства и медицины [Белобородова, 2008; Голуб, 2012; Немец, 2013; Тапальский, 2013; Гладких, 2015; Ерошенко, 2015; O'Donnell, 2011; Percival, 2014; Luhrig, 2015]. Проведен ряд исследований по изучению таких биопленок и по достижению их декантоминации за счет дезинтеграции [патент № 2038322; патент № 2076847; Борисенко, 2002; Мирошников, 2004, 2009; Амеличкин, 2012; Чеботарь, 2013; Сендл, 2014; Стрикаленко, 2014; Cloete, 2009; Robin, 2009; Bonebrake, 2017].

Общая концепция состоит в изучении процесса формирования трудноудаляемой микробной биопленки и ее дезинтеграции, индуцированной действием ЭХАР. Практическая значимость исследования применения ЭХАР заключается в оценке их антимикробной эффективности и опасности от образования биопленок в пищевом производстве [Тец, 2007; патент № 2469537; Агафонов, 2017; Konrat, 2016]. При введении в практику качественно нового подхода необходим анализ его реальной эффективности.

Антимикробным действием обладают обе фракции ЭХАР: экологически чистый дезинфицирующий раствор анолит и щелочной раствор католит с пониженным в отличие от других щелочных средств значением ОВП [Петрушанко, 2002;

Мирошников, 2012; Буданцев, 2014]. Однако стерилизующая активность только католита не обеспечивает полного уничтожения микробных патогенов.

Анолит характеризуется антимикробной активностью широкого спектра действия за счет содержащихся в нем метастабильных оксидантов (хлорноватистая кислота, гидроксид водорода, гипохлорит натрия, озон и др.). Анолитная фракция ЭХАР в отличие от других применяемых дезинфектантами смыва после применения не требует.

Исследование методов дезинтеграции биопленок микроорганизмов создает предпосылки к разработке новых технологий для дезинфекции в индустрии питания. Данные ряда ученых по проблеме удаления загрязнений с поверхностей оборудования, соприкасающегося с пищевым сырьем (Брио Н.П., Яблочкин В.Д., Коорал L.K. и др.) и анализ преимуществ и недостатков различных химических веществ и моющих композиций в процессах растворения белково-жировых загрязнений, ведущих к микробиологическому заражению (Абрамзон А.А., Зайченко А.И., Ланге К.Р., Ребиндер П.А. и др.) позволили обосновать необходимость усовершенствования процессов обработки пищевых поверхностей [Тутельян, 2019; Adley, 2016].

В работе применены следующие методы: 1 – математическое описание потока жидкости; 2 – морфологический анализ микроорганизмов с помощью световой микроскопии; 3 – микробиологический анализ на тест-пластинах Petrifilm для определения общего микробного числа; 4 – сканирующая электронная микроскопия (SEM), определяющая эффективность дезинтеграции бактериальных сообществ; 5 – генетический ПЦР анализ по критерию наличия остаточных клеточных фракций.

Известно, что многие физиологические процессы в чистых микробных культурах происходят по-иному в сравнении с аналогичными процессами в составе биопленки (прочно адгезированного к субстрату сообщества дифференцированных микробных клеток, заключенных в полимерный матрикс).

Также различно действуют антимикробные вещества на микроорганизмы в жидкой культуральной среде и в биопленке. Организация в форме биопленки

обеспечивает физиологическую и функциональную стабильность микроорганизмов и, следовательно, является залогом конкурентного выживания в экологической нише.

В качестве мишени исследования были выбраны биопленки, формируемые в протоке как молочнокислыми бактериями (МКБ), так и условно-патогенными микроорганизмами (*E. coli*), обладающими повышенной устойчивостью к противомикробным веществам, антисептикам и дезинфектантам, что существенно затрудняет соблюдение санитарного режима на предприятиях [Moabi Rachel Maluleke, 2006, 2008; UK Patent 2 253 860].

В качестве дезинфицирующего средства использовали ЭХАР: анолит и католит. Работы выполнены на модельном стенде, имитирующем трубопровод (из ПВХ) сложной конфигурации на предприятии питания при турбулентном потоке жидкости. Описание исследования приведено на схеме (рисунок 67).

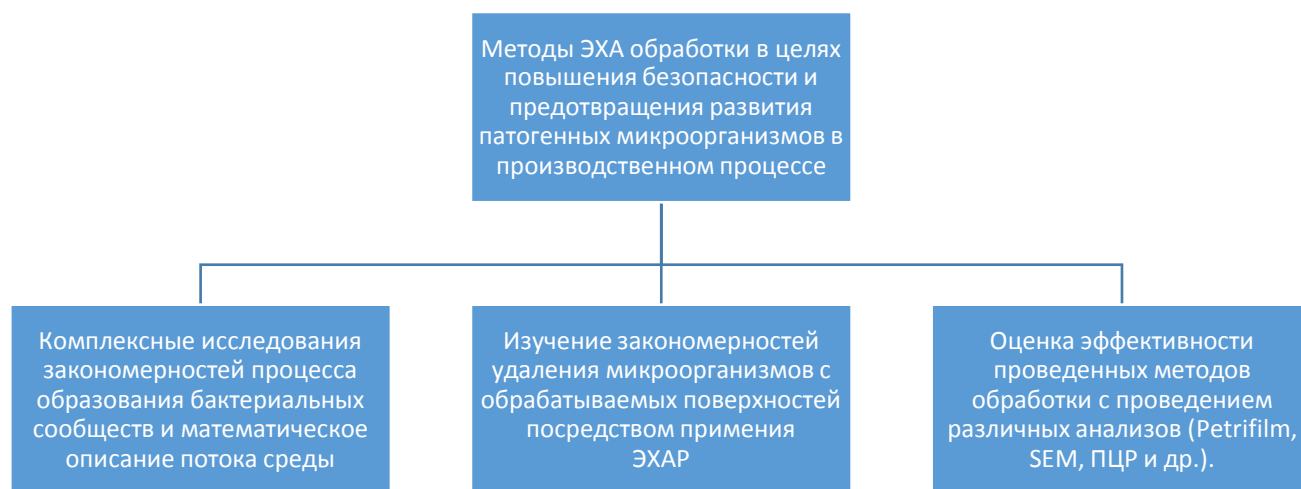


Рисунок 67 – Схема исследования образования бактериальных сообществ и их дезинтеграции

Целью создания экологически чистой системы обеззараживания объектов индустрии питания является решение проблемы резистентности патогенных микроорганизмов. Низкая чувствительность к известным антимикробным средствам и способам дезинфекции приводит к заражению технологических линий, порче продукции в процессе хранения и переработки [Чеботарь, 2012; Percival, 2014].

Предлагаемая система обеззараживания основана на рациональном использовании ЭХАР, получаемых в процессе электрохимического синтеза водных растворов солей. Широкую известность в РФ и за рубежом имеют установки по производству ЭХАР, обеспечивающие экологичным стерилизующим, дезинфицирующим и технологически вспомогательным средством (анолитом) медучреждения, предприятия коммунального, водного хозяйства и пищевой промышленности. Развитие направления, в особенности в условиях риска распространения коронавирусной инфекции, актуально также для предприятий общественного питания.

Экологическая чистота предлагаемой системы обусловлена совокупностью технологических решений, предусматривающих антимикробное воздействие на различные объекты без применения традиционных химических препаратов стабильного состава, но с использованием химических соединений в метастабильном состоянии. В этом случае ЭХАР можно считать наиболее безопасными средствами химической защиты пищевой продукции, а технологию их получения отнести к категории «природоподобных» технологий, не наносящих урона окружающей среде.

Сложность очистки оборудования АПК связана с устойчивостью к смыву белков и жировых отложений, а также способностью микроорганизмов образовывать биопленку, закрепляться в ней и защищать себя биополимерным матриксом.

Резистентность биопленок также обусловлена наличием застойных зон, особенностями рельефа поверхностей и свойствами материалов (ПВХ и силиконовые трубки, стекло, нержавеющая сталь AISI 304 и др.).

Дезинфекция первичной микробной биопленки распространяется только на ее поверхностный слой, а при следующем использовании продукт контаминируется 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].

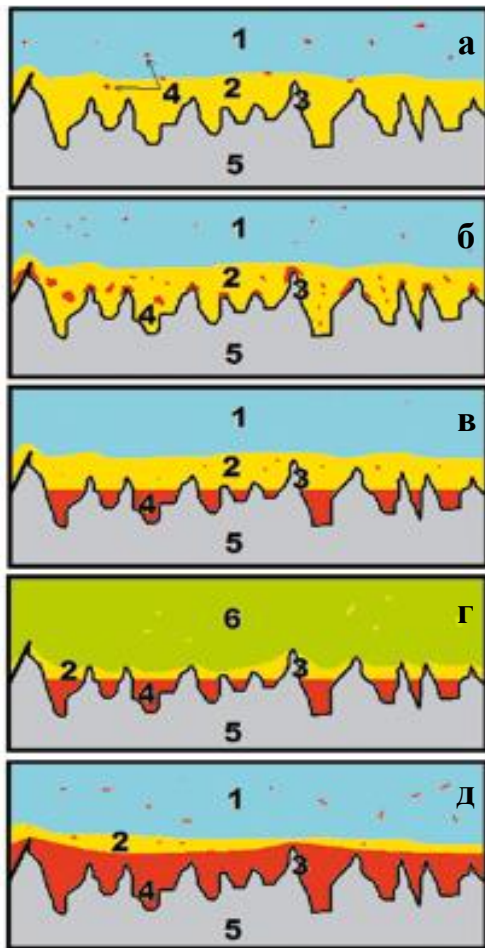


Рисунок 68 – Схема образования биопленки

Схематично данный процесс на примере производства молочных продуктов представлен на рисунке 68, подробно описан в [Меркулова, 2010; Новиков, 2016; Погорелова, 2019], где

1 - молочный продукт,

2 - слой жировых и белковых отложений,

3 - граница поверхности трубопровода,

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

Развитием исследования стала разработка испытательного стенда для формирования и дезинтеграции биопленки на различных поверхностях.

## 7.2 Моделирование системы обеззараживания сообществ микроорганизмов на поверхностях. Разработка испытательного стенда для формирования и дезинтеграции биопленки

На этапы существования биопленок влияют транспортные процессы переноса питательных веществ и взаимодействие с жидкостной средой, которая явля-

ется не только источником питательных веществ, но также регулирует перенос сигнальных молекул [Чеботарь, 2013; Погорелов, 2018; Rickard, 2004; Steenackers, 2012; Sawant, 2013].

Гидродинамика жидкости - один из наиболее важных факторов, влияющих на формирование, структуру и активность биопленки.

Для проведения экспериментов на биопленках создана рабочая модель в виде циркуляционного реактора, которая конструктивно позволяет изучать процесс формирования пленки в токе жидкости при контролируемых условиях и заражать объем микрофлорой. Устройство обеспечивает воспроизводство параметров: температура, освещение, скорость тока жидкости, состав газовой фазы, эффект анти-микробных средств и процедур.

Схематично устройство для изучения процесса воздействия дезинфицирующих средств на биопленки в проточных системах приведено на рисунке 69. В рамках настоящего исследования разработана модель станда (циркуляционный реактор), где внутренняя поверхность ПВХ трубки реактора является основой для формирования биопленки с контролируруемыми параметрами протокола их удаления (рисунок 70).

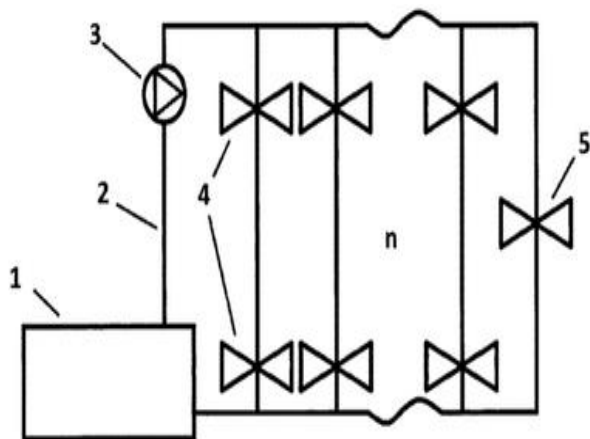


Рисунок 69 – Устройство для изучения процесса воздействия дезсредств на биопленки в проточных системах, где 1 - открытый или закрытый резервуар, 2 - система трубопроводов, 3 - циркуляционный насос, 4 - система изолированных двумя кранами трубопроводов, 5 - запорный кран

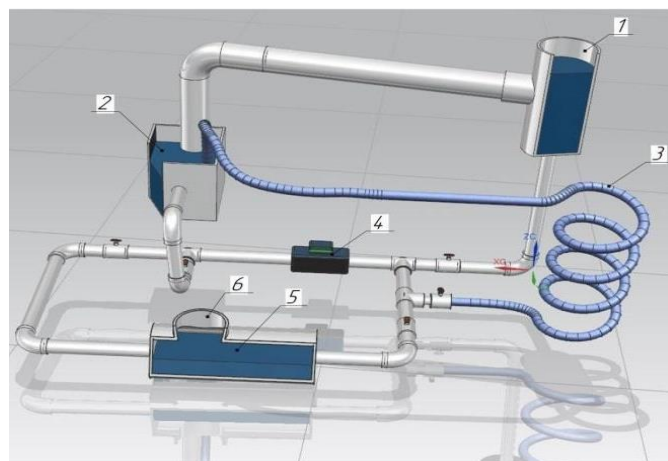


Рисунок 70 – Модель станда для формирования сообщества микроорганизмов, где 1 - резервуар для развития бактерий; 2 - резервуар для культивируемой среды; 3 - трубка ПВХ; 4 - насос; 5 - резервуар для дезинтеграции бактерий; 6 - застойная зона



Устройство для биообрастания биопленки в просвете трубопроводов и воздействия дезинфицирующих средств на биопленки в проточных системах защищено патентом (патент № 179657). В работе устройство использовали для изучения изменений в клеточных популяциях под действием ЭХАР. Циркуляционный реактор представляет собой полимерную емкость, заполненную водным раствором, которую можно инфицировать посредством спонтанного или целевого заражения микроорганизмами.

Образуемая на твердой поверхности микробная биопленка обладает собственным гомеостазом и биополимерным матриксом, что по сравнению с планктонной формой защищает от антимикробных дезинфектантов [Dufour, 2010; Marchand, 2012; Schwering, 2013; Ansari, 2017; Pogorelov, 2018]. Для объективной оценки необходима разработка унифицированного формирования биопленки, что обеспечивается исследованиями на специализированных стендах, воспроизводимостью условий формирования биопленки и протокольным контролем параметров дезинтеграции.

Разработанное устройство (рисунок 71) предназначено для получения биопленки и ее визуального изучения в проточной циркуляционной системе.

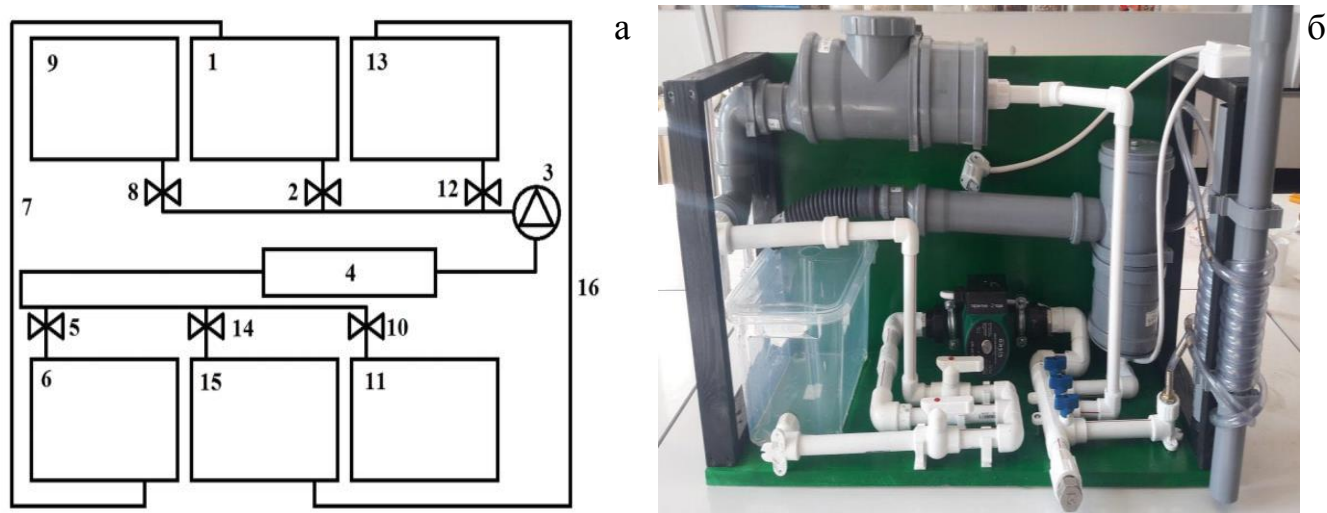


Рисунок 71 – Блок-схема (а) и фотография (б) лабораторного циркуляционного стенда для формирования и дезинтеграции биопленки, где 1, 6, 9, 11, 13, 15 - резервуар, 2, 5, 8, 10, 12, 14 - кран, 3 - циркуляционный насос, 4 - трубопровод с расширением, 7, 16 - трубопровод

В предложенном стенде бактериальная пленка растет на поверхности различных материалов в контролируемых условиях (среда культивирования, температура инкубации, интенсивность освещения, скорость протока жидкой среды, состав газовой фазы, воздействие дезинфицирующих средств). Застойные зоны созданы системой «by pass», когда в основной поток монтируется шунт, и локально в нише с медленной скоростью протока рабочего раствора. Комплекс лиофильно высушенных штаммов МКБ в составе закваски «Эвиталия» (НПФ «Пробиотика», Россия) использовали для культивирования бактериальной биопленки.

В сканирующем электронном микроскопе JSM-6390A (JEOL, Япония) при ускоряющем напряжении 10 кВ и использовании режима вторичных электронов исследовали ультраструктуру рельефа биопленки, для чего готовили препараты посредством известной методики, приведенной в [Pogorelov, 2014]. Бактериальные биопленки выращивали при комнатной температуре (23°C) в представленном на рисунке стенде на стеклянных купонах. Исходную суспензию микробного комплекса с содержанием бактериальной массы приблизительно  $4 \cdot 10^9$  КОЕ/см<sup>3</sup> активировали путем внесения содержимого флакона сухой закваски в 0,25 л нормализованного молока с температурой 40-43°C. Далее промежуточный резервуар, содержащий потоковую ячейку с отверстиями для размещения съемных купонов, инокулировали исходной суспензией МКБ. Культуры бактерий затем разбавляли стерилизованной водой температурой 40-43°C до 0,75 л общего объема среды, которая впоследствии служила в качестве инокулята для установки. Затем создавали необходимый циклический поток среды при помощи перистальтического насоса через первый контур лабораторного стенда. Биопленку выращивали в течение 6 сут, после чего образцы были извлечены, промыты и отобраны для проведения микробиологического анализа и световой микроскопии.

Исследовано совместное влияние биоцидных ЭХАР и гидромеханических параметров как наиболее важных факторов формирования и дезинтеграции биопленки. Для описания условий течения жидкости использовано безразмерное чис-

ло Рейнольдса ( $Re$ ), определяемое как отношение сил инерции (скоростного напора) к силам вязкого трения:

$$Re = \frac{D_H \cdot v \cdot \rho}{\mu},$$

где  $D_H$  - гидравлический диаметр трубы (м),  $v$  - скорость потока (м/с),  $\rho$  - плотность жидкости ( $\text{кг/м}^3$ ),  $\mu$  - динамическая вязкость жидкости ( $\text{Па}\cdot\text{с}$ ), для воды при  $20^\circ\text{C}$  равная  $1004 \cdot 10^{-6}$   $\text{Па}\cdot\text{с}$ .

Значение  $Re$  зависит от геометрии потока реактора. В цилиндрических трубах  $Re < 2300$ ,  $2300 < Re < 4000$ ,  $Re > 4000$  соответствуют условиям ламинарного, переходного и турбулентного течения.

На входе принималась равномерная осевая скорость, соответствующая средней объемной скорости:

$$v = \frac{\theta}{S_{\text{тр}}} = \frac{\theta \cdot 4}{\pi \cdot d^2},$$

где  $\theta$  – подача насоса ( $\text{м}^3/\text{с}$ ),  $S_{\text{тр}}$  - площадь сечения трубы ( $\text{м}^2$ )

В работе при трех режимах работы насоса с подачей

$$\theta_1 = 167 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с} \text{ (10 дм}^3/\text{мин)},$$

$$\theta_2 = 333 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с} \text{ (20 дм}^3/\text{мин)},$$

$$\theta_3 = 500 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с} \text{ (30 дм}^3/\text{мин)}$$

средняя объемная скорость составила

$$v_1 = 0.236 \text{ м/с}$$

$$v_2 = 0.471 \text{ м/с}$$

$$v_3 = 0.707 \text{ м/с}$$

Таким образом, предлагаемые режимы дезинтеграции реализованы с учетом турбулентности потока ( $Re > 4000$ ). Увеличение скорости потока способствует движению молекул (питательных веществ, биоцидов, АБ и т.д.) путем изменения концентрации молекул в биопленке с жидкой фазой, влияя как на адгезию и созревание биопленки, так и на степень ее дезинтеграции и увеличение способности отслоения клеток.

Созданный лабораторный циркуляционный реактор эффективен при формировании биопленки из планктонной формы *E.coli* и композиции МКБ, а также

смешанной культуры. Разработанная экспериментальная модель для оценки *in vitro* устойчивости бактериальной пленки к действию ЭХАР обеспечила возможность задавать параметры бактериальной пленки, контролировать условия ее культивирования и дезинтеграции. Предложенная методика визуализации посредством электронной и световой микроскопии в сочетании с PCR-RT обеспечивает получение морфологических, ультраструктурных и молекулярно-генетических показателей, позволяющих оценить статус биопленки, образованной на внутренней поверхности трубки реактора.

### 7.3 Исследование ингибирующего действия ЭХАР на развитие биопленки в производственном цикле

Проведена оценка влияния ЭХАР на рост и образование биопленки МКБ. Изучена эффективность биоцидов, созданных методом униполярной электрохимической активации водных растворов хлорида натрия. Обнаружено, что последовательная обработка бактериальной пленки католитом и анолитом (фракции ЭХАР) привела к наиболее выраженному снижению интенсивности роста и плотности бактерий.

Полученные результаты демонстрируют антибактериальную эффективность и возможность применения ЭХАР для профилактики и дезинфекции водопроводных систем, например, на предприятиях АПК и индустрии питания.

Пристальное внимание, которое уделяют биопленкам, обусловлено распространенностью данной формы микробного симбиоза как в естественной среде, так и в промышленных водопроводных системах (до 90-95 %). Загрязняя и засоряя оборудование, ухудшая товарный вид и качество продуктов питания путем био-конверсии, бактериальные пленки создают проблему для АПК и общественного

питания [Мартинес, 2011; Зайцева, 2012; Колотило, 2013; Плешакова, 2014; Чушкина, 2015; Boyle, 2012; Bohinc, 2015].

Актуальность работ в области обеззараживания воды подтверждается рядом документов и докладов - Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 г., утв. Распоряжением Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235-р; Водный саммит в Будапеште (2013 г., Пан Ги Мун); Водный форум БРИКС в Москве (2016 г., Минобрнауки России).

Для предотвращения необратимого роста скоплений микроорганизмов и уменьшения риска полного заражения технологических линий периодически проводят мероприятия по очистке и обеззараживанию дезинфицирующими средствами на основе альдегидов, хлорсодержащих дезинфектантов – гипохлорита натрия, реже – хлорамина и диоксида хлора.

Образование биопленок приводит также к значительным потерям ресурсов и уменьшению эффективности, что обуславливает необходимость поиска новых способов их удаления.

В агропищевых технологиях обработка поверхности материала ЭХАР, обладающим широким бактерицидным диапазоном действия, является прогрессивным экономичным, эффективным и экологически безопасным способом удаления биопленки. Метастабильный ЭХАР со временем восстанавливает свойства исходной воды, а значит данные растворы можно отнести к безопасным средствам обеззараживания широкого спектра действия.

В силу физико-химического метастабильного состояния растворов микробные сообщества не вырабатывают механизмы резистентности к данному воздействию.

Основная цель данного этапа работы состояла в исследовании действия ЭХАР на клеточную компоненту при обработке бактериальной пленки. Моделью водной коммуникации, контаминированной бактериями, служил трубопровод рециркуляционного реактора, засеянный чистой культурой *E.coli* или микроорганизмов, характерных для молочного производства, в качестве которых использовали лиофильно высушенный ассоциат МКБ (*Lactococcus lactis*, *Streptococcus*

*thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus helveticus*, *Propionibacterium freudenreichii ssp. shermanii*).

В сличительном эксперименте моделирования водопроводных узлов в качестве контроля использовали бактериальную пленку, которую промывали водой (рН 7.3-7.6, ОВП 250-290 мВ). 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/дм<sup>3</sup>, рН 5.5-6.5, ОВП 900-1000 мВ). Время обработки составляло 1 час в каждом случае.

Разработанное устройство для исследования процесса биообрастания приведено на рисунке 72, защищено патентом (патент № 178083).

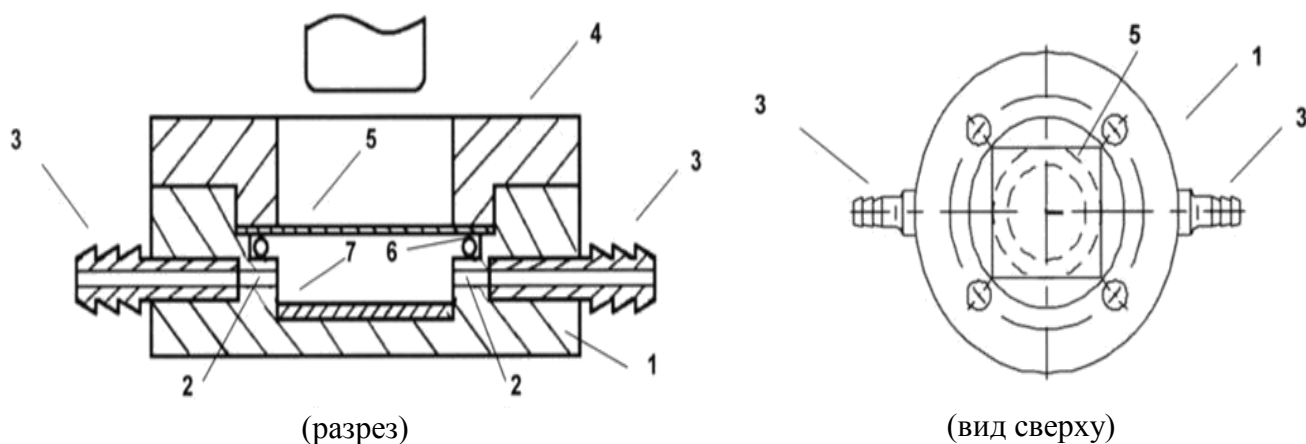


Рисунок 72 – Устройство для исследования процесса биообрастания, где 1 - корпус проточной ячейки, выполненный из прозрачного материала (оргстекло) с выемкой, 2 - горизонтальные каналы, 3 - вкрученные штуцера, 4 - крышка из прозрачного материала с отверстием, соответствующим форме выемки, 5 - покровное стекло, 6 - эластичный уплотнитель, 7 - пластинка исследуемого материала, находящегося в жидкой проточной или неподвижной среде

Устройство предназначено для микроскопического (визуального) исследования жизненного цикла биопленок, образованных различными сообществами микроорганизмов на различных материалах и в различных средах в условиях контролируемого воздействия температуры, освещения, скорости перемещения жидкой среды, состава газовой фазы. Позволяет изучать все фазы жизненного цикла

биообрастаний (лаг-фаза, стадия экспоненциального роста, стабилизация, отмирание).

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 73).

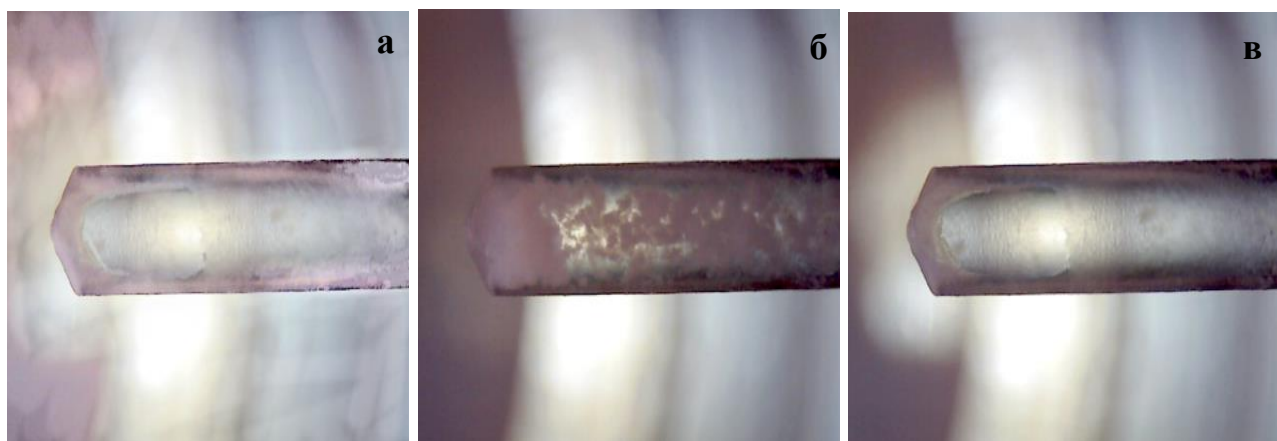


Рисунок 73 – Биоупленкообразование МКБ в проточной ячейке, где  
(а) поверхность стекла иллиуминатора до начала формирования биопленки,  
(б) то же, после завершения формирования биопленки,  
(в) то же, после обработки биопленки ЭХАР

Проведена оценка влияния ЭХАР на рост и образование биопленки МКБ. Обнаружено, что последовательная обработка бактериальной пленки католитом и анолитом (фракции ЭХАР) привела к наиболее выраженному снижению интенсивности роста и плотности бактерий. Результаты микроскопического анализа (рисунок 74) выявили выраженные различия в структуре биопленки контрольного и экспериментальных образцов. Видно (рисунок 74а), что вода оказывает недостаточное влияние на структуру биопленки. Разрыхление бактериальной пленки наблюдается в потоке 10 % раствора NaOH (рисунок 74б). В результате обработки католитом с аналогичным содержанием гидроксида натрия был удален матрикс биопленки и частично клеточная компонента (рисунок 74в). Максимальная дезинтеграция бактериальной пленки регистрируется после воздействия католита в сочетании с анолитом, но и в этом случае на поверхности остаются редкие фрагменты клеток (рисунок 74г).



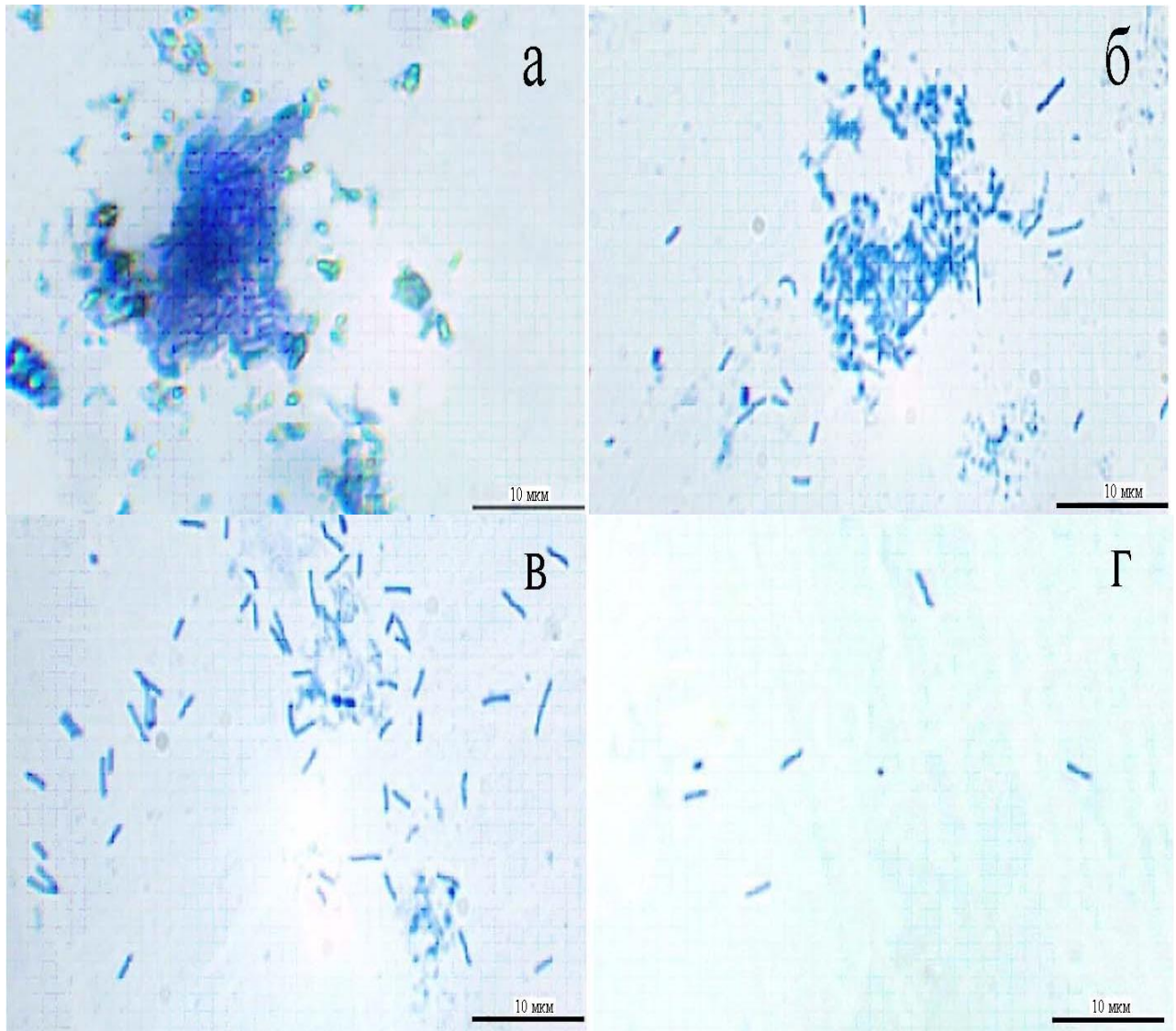


Рисунок 74 – Микрофотографии биопленки, сформированной МКБ и отмытой: (а) водой (контроль), (б) 10 % водным раствором NaOH, (в) католитом, (г) последовательно католитом и анолитом

Действие параметров обработки оценивали по сокращению числа колоний микроорганизмов (КОЕ/см<sup>3</sup>). При динамическом течении жидкости в период обработки водой (1ч) общее число бактериальных клеток составило  $5 \cdot 10^9$  КОЕ/см<sup>3</sup>, однако большая часть биомассы вероятнее всего находится в виде биопленок, прочно прикрепленных к поверхности.

После обработки раствором NaOH в турбулентном режиме ( $Re > 4000$ ) в течение 1 ч количество бактерий снизилось до  $5 \cdot 10^8$  КОЕ/см<sup>3</sup>. Из-за образования биопленки микроорганизмы не могли быть полностью удалены. Обработка католитом в течение 1 ч привела к полному удалению с поверхности МКБ. Однако



была обнаружена клеточная компонента по внешним признакам похожая на *E.coli*.

В периодическом режиме обработки с комбинированной очисткой катодом и дезинфекцией анолитом в течение 1 ч было отмечено существенное снижение бактериальной контаминации поверхности по сравнению с предыдущими методами ( $5 \cdot 10^5$  КОЕ/см<sup>3</sup>).

На следующем этапе исследований образцы стенок трубопровода модельного реактора после проведенных режимов обработки были изъяты и перенесены в пробирки с 100 см<sup>3</sup> физиологического раствора (0,9 % раствора NaCl) для последующего экспрессного определения общего микробного числа (КМАФАнМ) методом подсчета жизнеспособного числа клеток на тест-пластинах Petrifilm RAC.

При проведении анализа на пластинах Petrifilm RAC сначала поднимали верхний лист, затем 1 см<sup>3</sup> образца наносили на поверхность, после чего верхний лист опускали, шпателем осторожно прижимали пластины для равномерного распределения жидкости по площади поверхности [Castilho, 2015]. Пластины Petrifilm инкубировали при  $36 \pm 1$  °C в течение 48 ч.

Самое низкое разведение было подсчитано для определения плотности биопленки. На двух пластинах Petrifilm из одного разведения подсчитывали количество колоний, после чего подсчеты были усреднены. Эти значения использовали в уравнении для расчета средней логарифмической плотности биопленки (log biofilm density - LD), значение которой определяется как  $\log_{10}$  (КОЕ/см<sup>2</sup>).

Расчет индекса микробиологической плотности биопленки (БП) определяли по формуле:

$$\text{БП} = \log_{10}[(\text{КОЕ}/V_1) \cdot (V_2/S) \cdot K],$$

где КОЕ – число колоний/см<sup>2</sup>;  $V_1$  – объем пробы, см<sup>3</sup>;  $V_2$  – объем пробирки, см<sup>3</sup>;  $S$  – площадь купона, см<sup>2</sup>;  $K$  – коэффициент разбавления [Fritz, 2014].

В уравнении объем, занимаемый пластинами Petrifilm RAC, составлял 1 см<sup>3</sup>.

Логарифмическое снижение (log reduction - LR) служит показателем антимикробной эффективности дезинфицирующего средства. Значение этого парамет-

ра представляет собой разницу между значением LD экспериментального и контрольного образцов [Zelver, 2001]. Результаты приведены на рисунке 75.

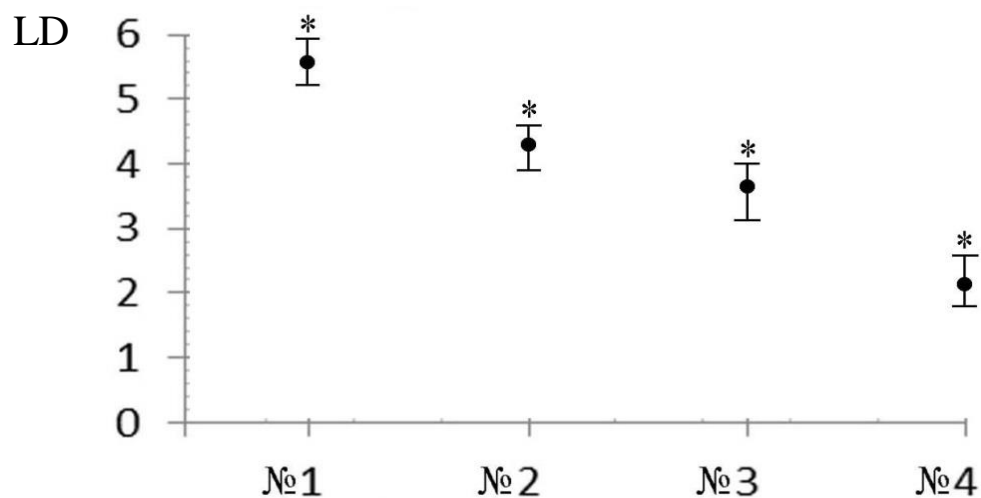


Рисунок 75 – Значения плотности биопленки (LD) для бактериальной пленки, образованной *E. coli* и комплексом МКБ, где №1 - обработка потоком воды, №2 - обработка потоком 10 % водного раствора NaOH, №3 - обработка потоком католита, №4 - обработка католитом с последующим потоком анолита

\* указывает на значимое отличие ( $P < 0,05$ ) от других экспериментальных групп

В работе использовали показатель LD для бактериальной пленки, выращенной на стеклянном купоне и обработанной различными способами. Полученная зависимость LD от LR показана на рисунке 76.

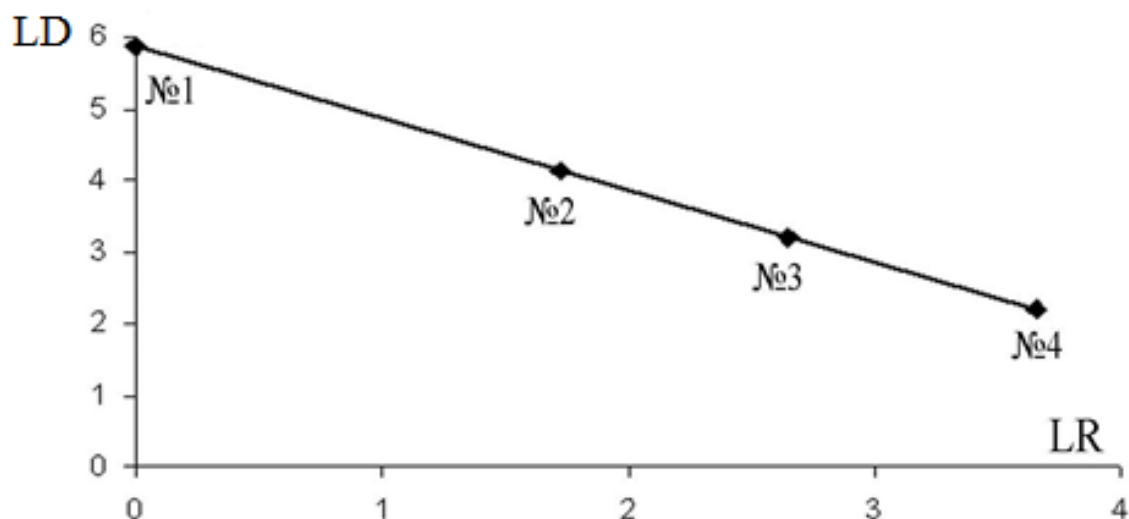


Рисунок 76 – Зависимость логарифмической плотности (LD) от параметра логарифмического снижения (LR) для бактериальной пленки, образованной *E. coli* и комплексом МКБ: №1 - обработка потоком воды, №2 - обработка потоком 10 % водного раствора NaOH, №3 - обработка потоком католита, №4 - обработка католитом с последующим потоком анолита

Как и ожидалось, показатель LR демонстрировал изменчивость по сравнению с LD в зависимости от применяемого способа обработки. Совместное воздействие анолита и католита привело к наиболее высокому логарифмическому снижению LR, равному 3,66. Полученные результаты суммированы в таблице 53.

Таблица 53 – Влияние метода обработки на плотность и показатель логарифмического снижения для бактериальной пленки, образованной *E. coli* и комплексом МКБ

Метод обработки	H <sub>2</sub> O (контроль)	Раствор NaOH	Католит	Католит и анолит
Значение на графике	№1	№2	№3	№4
LD*	5,86±0,31	4,14±0,44	3,21±0,43	2,20±0,22
LR	0	1,72	2,65	3,66

\* среднее ± среднеквадратичное отклонение

Значения БП, полученные для разных экспериментальных групп, имели значительные отличия ( $P < 0.05$ ) и составили:  $БП_a = 5,86 \pm 0,31$ ,  $БП_b = 4,14 \pm 0,44$ ,  $БП_в = 3,21 \pm 0,43$ ,  $БП_г = 2,20 \pm 0,22$ . Наименьшее значение индекса БП ( $2,20 \pm 0,22$ ) соответствует последовательному воздействию обеих фракций ЭХАР, что означает наибольшую дезинтеграцию биопленки и антимикробную эффективность предлагаемого способа обеззараживания.

Таким образом, показывалось, что пластины Petrifilm давали статистически значимые различия при подсчете биопленки МКБ, выращенной в реакторе на контрольных купонах, а также на купонах, подвергнутых воздействию ЭХАР. Данные результаты демонстрируют существенное снижение бактериальной контаминации поверхности трубок ПВХ после совместной обработки католиком и анолитом. Экспресс-метод с применением тест-пластин Petrifilm RAC позволил проконтролировать эффективность дезинтеграции бактериальной пленки.

Вследствие того, что следы матрикса и клеточного материала на поверхности являются аттрактором для регенерации биопленки, а ЭХАР влияет на свой-

ства поверхностного слоя подложки, изучали удаление бактериальной пленки, сформированной повторно МКБ (рисунок 77).

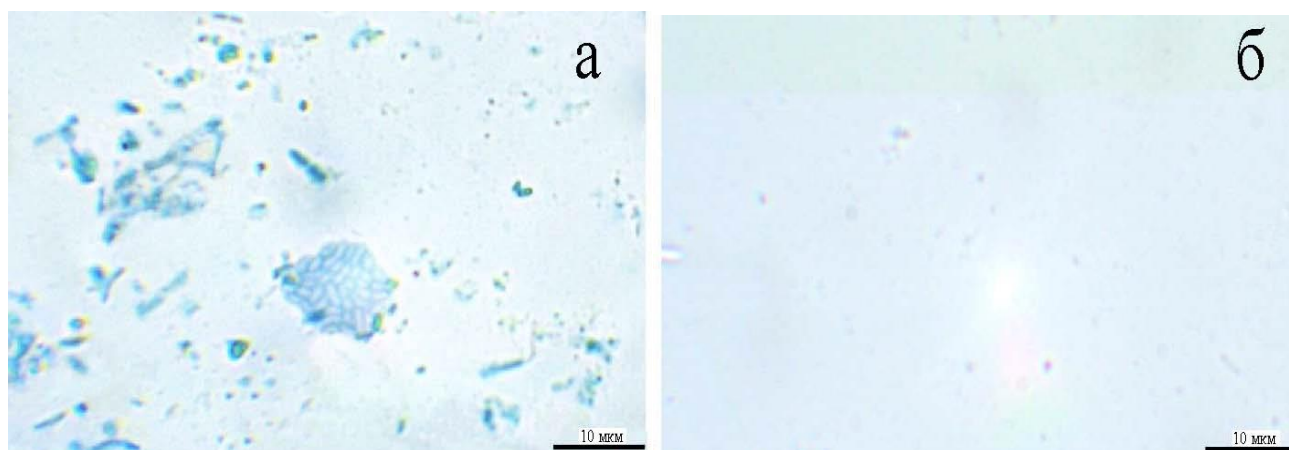


Рисунок 77 – Микрофотографии повторно сформированной биопленки МКБ на поверхности: (а) после удаления первичной биопленки, (б) после удаления вторичной биопленки католитом и анолитом

Условия выращивания бактериальной пленки и ее обработки оставались постоянными в течение всего эксперимента. Показано (рисунок 77а), что на поверхности купона, обработанного ранее ЭХАР, формируются биопленки *de novo*. Показано отсутствие явных источников загрязнения после вторично проведенной процедуры дезинтеграции (рисунок 77б). Таким образом, ЭХАР является эффективным средством разрушения и вторичной бактериальной пленки.

#### 7.4 Дезинтеграция биопленки, сформированной планктонными формами композиции МКБ и *E.coli*

Рассматривая биопленку, как своеобразный микромир, способный формировать и защищать свою вселенную, следует также уделить внимание матриксу, который создает комфортные условия существования и агрессивного воспроизводства микроорганизмов [патент № 2559546; Peterson, 2010]. Матрикс может

быть не менее критичной мишенью, чем клеточная компонента, при разрушении бактериальной пленки.

Циркуляционная обработка трубки ПВХ анолитом в течение 5 мин со скоростью 22-23 дм<sup>3</sup>/час привела к значительному снижению ее обсемененности, хотя с помощью SEM на поверхности трубки выявляются бактериальные клетки и матрикс (рисунок 78).

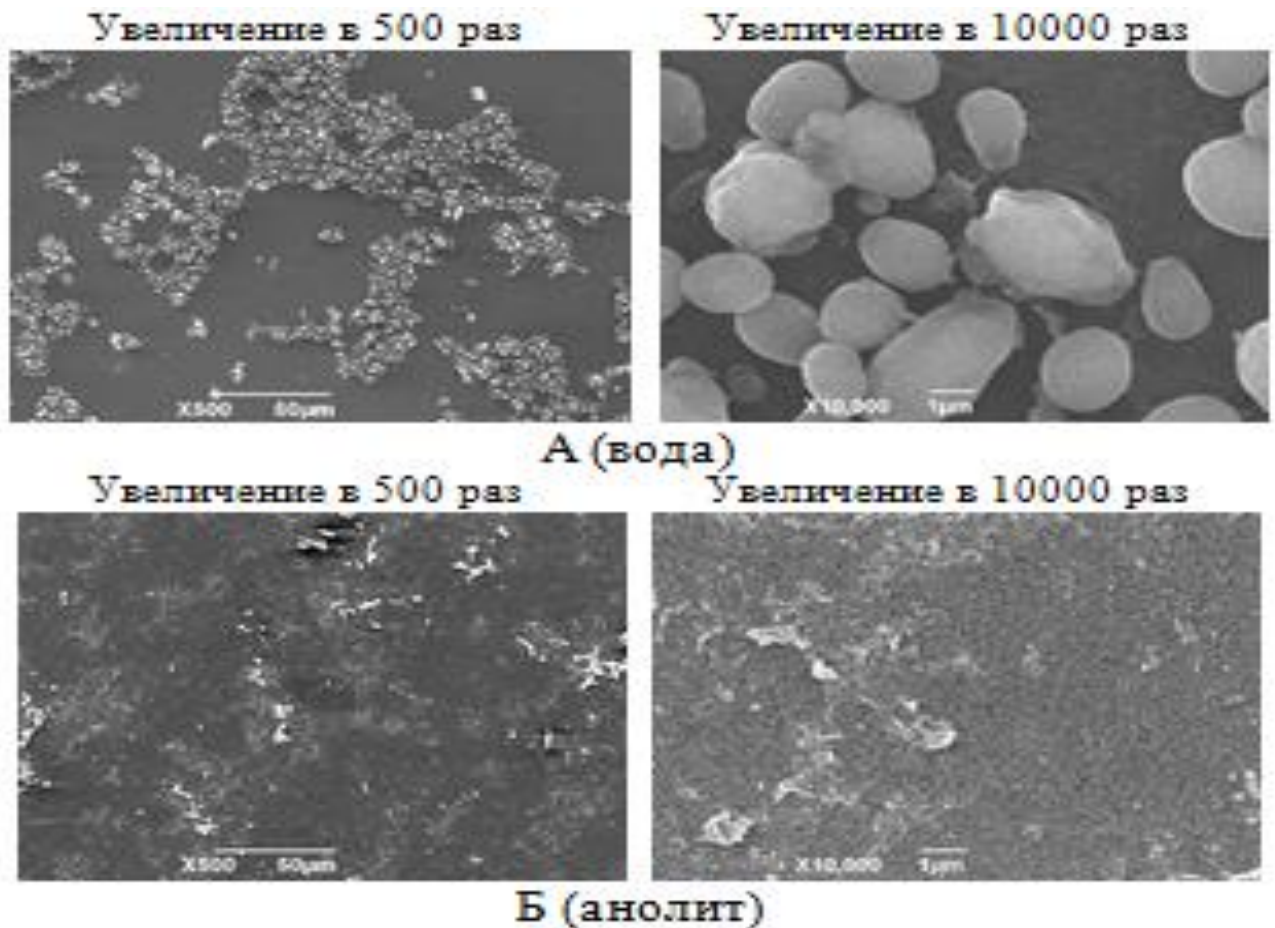


Рисунок 78 – Микрофотографии внутренней поверхности трубки из ПВХ рециркуляционного реактора, полученные посредством SEM с увеличением в 500 и 10000 раз. Изображение биопленки, сформированной планктонной формой композиции МКБ, где А - бактериальная пленка, подвергнутая обработке водой, Б – бактериальная пленка после обработки анолитом

Микрофотографии демонстрируют эффективность анолита в отношении клеток МКБ и продуцируемого ими матрикса. При всех увеличениях заметно удаление подавляющего большинства клеток, видны разрывы и разрозненные фрагменты матрикса. Однако при этом остаются кластеры матрикса, способные стать причиной быстрой регенерации биопленки.



Действие анолита проверяли на биопленке *E.coli*. Затем поверхность трубки ПВХ в течение 20 мин в режиме циркуляции обрабатывали анолитом (АДВ 531 мг/дм<sup>3</sup>, минерализация 0,77 г/дм<sup>3</sup>, рН 6,1, ОВП +816 мВ). Как видно на микрофотографиях (рисунок 79), проточная обработка анолитом поверхности трубки ПВХ приводит к дезинтеграции матрикса и отделению от него бактериальных клеток.

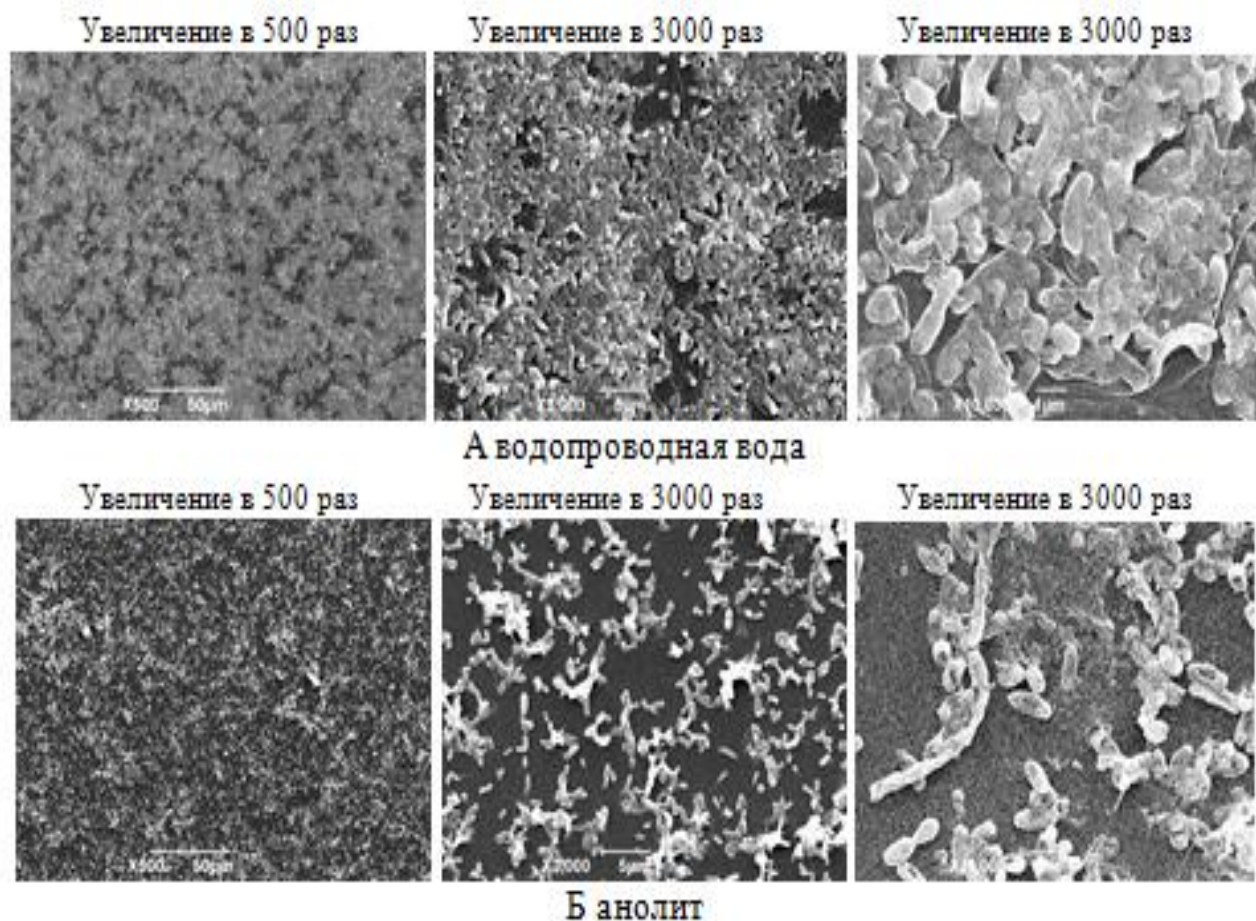


Рисунок 79 – Микрофотографии внутренней поверхности трубки ПВХ рециркуляционного реактора, полученные посредством SEM с увеличением в 500, 3000, 10 000 раз. Изображение биопленки, сформированной планктонной формой *E.coli*: (А) бактериальная пленка, подвергнутая обработке водой, (Б) – бактериальная пленка после обработки анолитом

Оставшиеся клетки и фрагменты матрикса имеют следы повреждений, хорошо заметные при увеличении в 10000 раз. В естественной среде, в т.ч. на сельскохозяйственных и пищевых предприятиях, микроорганизмы в большинстве случаев формируют биопленки, состоящие из смешанных культур, поэтому в данном исследовании также создавали условия для образования

био пленки смешанной культурой, включающей *E. coli* и комплекс МКБ.

В серии опытов промывали анолитом внутреннюю поверхность модельного трубопровода, покрытую био пленками *E.coli* и смешанной культуры, время обработки увеличили до 60 мин. Фрагменты трубок ПВХ с био пленками *E. coli* и трубок ПВХ с био пленками смешанной культуры в течение 1 ч промывали анолитом (АДВ 496 мг/дм<sup>3</sup>, минерализация 0,77 мг/дм<sup>3</sup>, рН 6,58, ОВП +900 мВ).

Для определения наличия на стенках трубок живых бактериальных клеток проводили микробиологический анализ контрольных и опытных трубок, отбирая соскобы с их внутренней поверхности и высевая в жидкую питательную среду LB (первый соскоб) или твердую (агаризованную) среду LB (второй соскоб).

Для определения наличия на стенках трубочек живых бактериальных клеток 5 см<sup>3</sup> жидкой среды LB заражали соскобом из трубок по 0,1 см<sup>3</sup> (заражение 1:50) и выращивали в течение ночи при 37°С при постоянном перемешивании. На следующий день измеряли оптическую плотность по поглощению на длине волны 590 нм, на фотоэлектроколориметре. По данным оптической плотности (таблица 54) построен график роста бактерий (рисунок 80).

Таблица 54 – Рост бактерий в жидкой среде LB. Данные оптической плотности

Наименование пробы (mix - смешанная культура)	Оптическая плотность пробы	
	1й соскоб	2й соскоб
1 mix – H <sub>2</sub> O	8,4	3,24
2 mix – NaOH	7,8	0,06
3 mix – анолит	4,5	0,06
4 <i>E.coli</i> – H <sub>2</sub> O	9,6	10,2
5 <i>E.coli</i> – NaOH	2,7	1,02
6 <i>E.coli</i> – анолит	1,38	0,06
7 – чистая трубочка	0,12	0,06

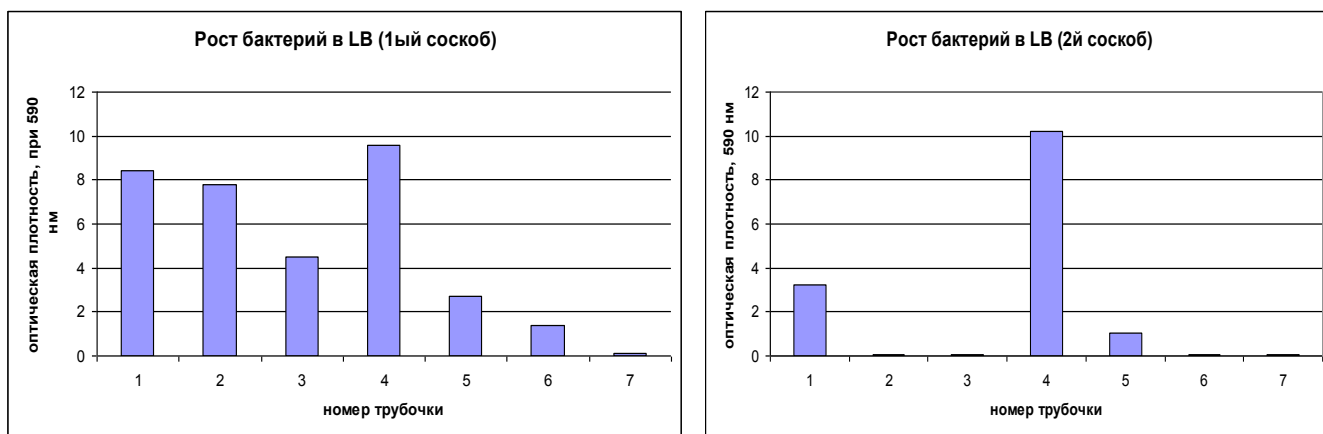


Рисунок 80 – Рост бактерий в жидкой среде LB (первый и второй соскоб)

В случае смешанной культуры на поверхности, обработанной анолитом, выросло примерно на 50 % меньше бактерий, чем в трубке, промытой водой. В случае *E.coli* эта разница была семикратной. С целью проверки чистоты внутренней поверхности трубочек после отбора первого соскоба через 6 дней делали 2-ой соскоб с этих же трубок. В трубке, обработанной анолитом, роста не было в отличие от трубки, промытой водой и, в меньшей степени, промытой раствором NaOH. Рост бактерий, отобранных со стенок трубок, на агаризованной среде LB контролировали, высевая соскоб на чашки Петри с агаром. Чашки выдерживали в течение ночи при 37°C.

Данные микробиологического анализа свидетельствуют об эффективности использования анолита для удаления с поверхности трубок ПВХ клеток как *E. coli*, так и смешанной культуры *E. coli* и комплекса МКБ. Эффективность нейтрального (pH 5,0-6,5) низкоконцентрированного (0,05 % АДВ) анолита оказалась выше, чем эффективность сильнощелочного (pH 13,5-13,7) раствора NaOH (10 % АДВ), который традиционно применяется для очистки трубопроводов, поверхностей оборудования на сельскохозяйственных предприятиях, причем обычно в меньших концентрациях.

В сравнительном эксперименте была исследована способность ЭХАР к разрушению адгезионных связей и отрыву биоматрикса от поверхности различных материалов – трубок ПВХ, стеклянной поверхности и пластинок из пищевой нержавеющей стали марки AISI 304. Выбор указанных видов материалов обусловлен их различными адгезионными свойствами. Кроме того,



данные материалы широко применяются в сельскохозяйственном производстве и пищевой промышленности.

В качестве модельных контаминирующих микроорганизмов использовали смешанную культуру МКБ и *E. coli*, описанную выше. Фрагменты трубопровода с биопленкой смешанной культуры последовательно промывали 10 % католитом в течение 3 ч, а затем анолитом в течение 20 мин. Микрофотографии демонстрируют различия в действии анолита на биопленки, сформированные на различных поверхностях (рисунок 81). Методом SEM установлено, что на формирование и адгезионные способности биопленки в значительной степени влияет материал поверхности. Уже при увеличении в 500 раз заметно, что на контрольных (необработанных) трубке ПВХ, стеклянной и стальной поверхностях накопление и закрепление биопленок происходит с различной интенсивностью.

В течение культивирования поверхность трубки ПВХ покрывается плотным «ковром» из микробных клеток. На стеклянной поверхности, помимо микробных клеток, обнаруживаются равномерно распределенные по всей площади жировые шарики. Такие же шарики присутствуют на поверхности пластинки из нержавеющей стали (видно на фото с увеличением в 3000 и 10000). Комбинированная обработка католитом и анолитом позволила практически полностью отмыть стеклянную поверхность. Однако на трубке ПВХ и стальной пластинке при этом режиме удалось добиться существенного разрушения, но не полного удаления биопленки.

При увеличении в 3000 и 10000 раз видно, что на стальной пластинке остались разрушенные фрагменты матрикса и жировые отложения. На трубке ПВХ остались клетки *E. coli*, а клеток МКБ не наблюдается совсем.

Очевидно, что эти культуры обладают различной адгезионной способностью к поверхности ПВХ. В то же время на стеклянной поверхности при отмывании анолитом не удержались ни клетки МКБ, ни клетки *E. coli*.

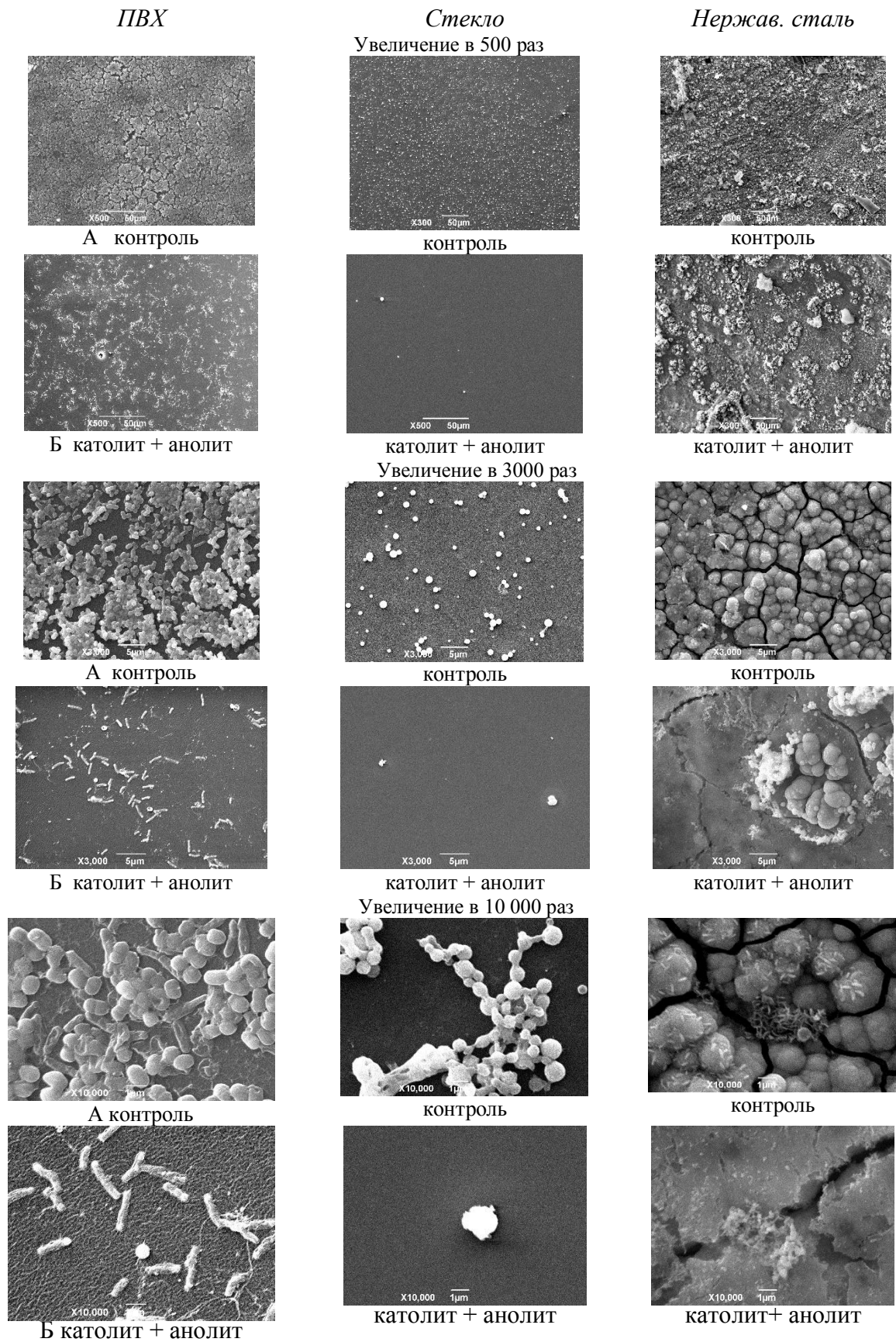


Рисунок 81 – Микрофотографии фрагментов рециркуляционного реактора из различных материалов, полученные посредством SEM с увеличением в 500, 3000, 10000 раз. Изображение биопленок исходной смешанной культуры *E. coli* и комплекса МКБ, а также биопленки после комбинированного воздействия ЭХАР

Микрофотографии на рисунке 82 подтверждают усиление разрушения матрикса и удаления клеток после обработки образцов ЭХАР в этой последовательности.

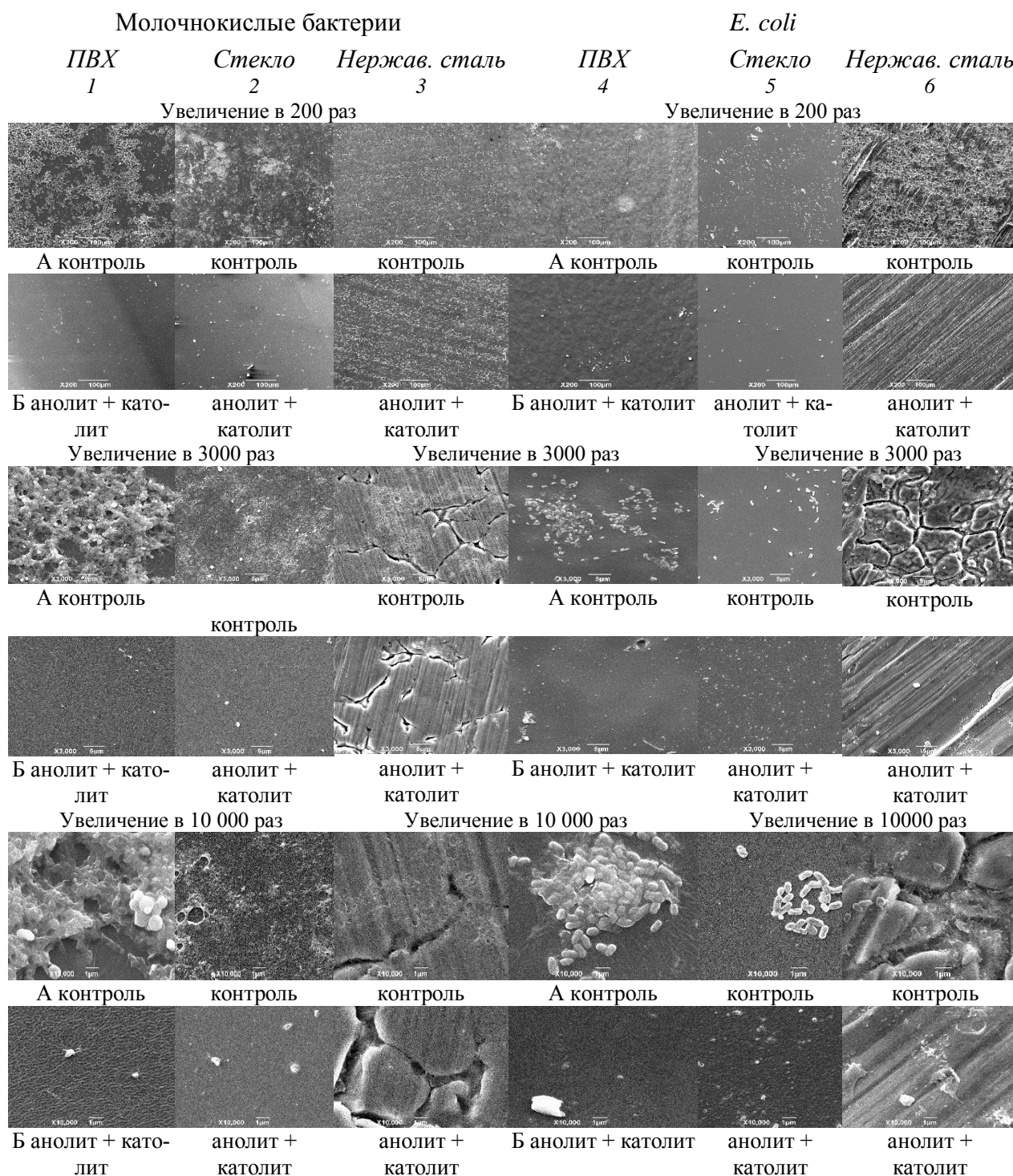


Рисунок 82 – Микрофотографии фрагментов рециркуляционного реактора из различных материалов, полученные посредством SEM с увеличением в 200, 3000, 10000 раз. Изображение биопленок комплекса МКБ (столбцы 1,2,3) и биопленок *E. coli* (столбцы 4,5,6) до и после воздействия ЭХАР

С целью поиска режимов, обеспечивающих максимальную дезинтеграцию биопленки, фрагменты трубопровода, контаминированные биопленкой МКБ и биопленкой *E.coli* последовательно промывали сначала анолитом в течение 20 мин, затем католитом в течение 3 ч со скоростью подачи растворов 23 дм<sup>3</sup>/ч. В конце обработки остатки католита смывали водой. В эксперименте использовали анолит (ОВП +906 мВ, рН 5,92, минерализация 0,7 г/дм<sup>3</sup>, АДВ 573 мг/дм<sup>3</sup>); католит (ОВП -987 мВ, рН 13,59, 10 % NaOH). Затем в качестве бактериального тест-образца была выбрана кишечная палочка. Присутствие *E. coli* в пробах служит критерием неблагоприятной ситуации в тестируемой технологии и/или производственной цепочке. На рисунке 83 приведены микрофотографии сформированной на поверхности трубки из ПВХ биопленки микроорганизмов.

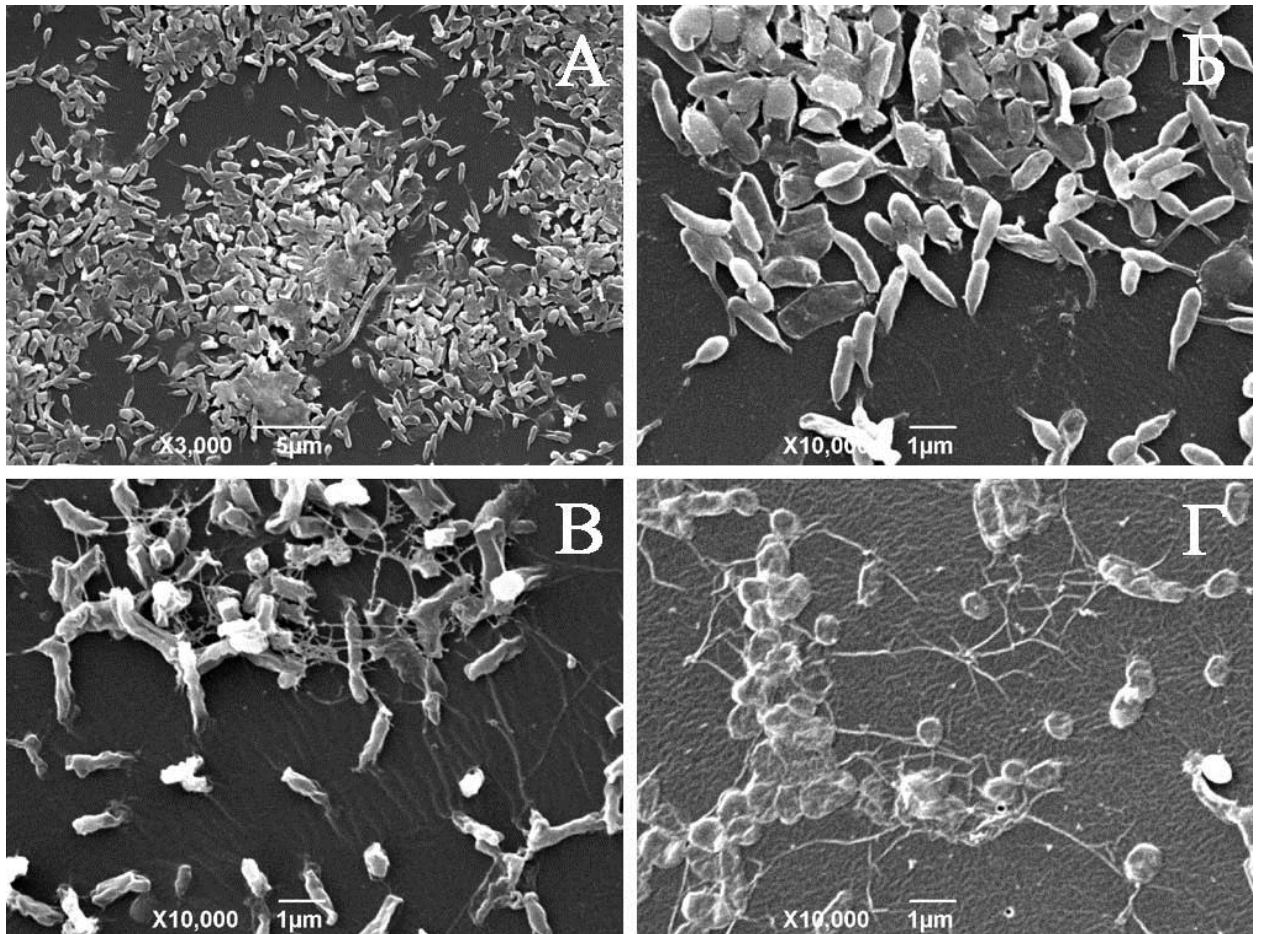


Рисунок 83 – Изображение биопленки, сформированной суспензией *E. coli* на внутренней поверхности трубки из ПВХ рециркуляционного реактора.

Микрофотографии получены посредством SEM, где (А) биопленка, не подвергнутая обработке, (Б) тот же препарат, но при большем увеличении, (В) биопленка после обработки 10 % католитом, (Г) биопленка после обработки последовательно 10 % католитом и анолитом

Экспериментальная модель *in vitro* для оценки устойчивости условно-патогенной микрофлоры к действию ЭХА водных растворов основана на сочетании возможности формировать биопленку в рециркуляционном реакторе и последующем ультраструктурном анализе. Использовали суспензию планктонной формы *E. coli* из лаборатории Л.А. Железной (ИТЭБ РАН, г. Пущино).

Полученные результаты позволяют заключить, что разработанный рециркуляционный реактор обеспечивает образование биопленки из монокультуры *E. coli*. Контрольные препараты биопленки обладали плотной структурой клеточных колоний (рисунке 83А). При большем увеличении (рисунок 83Б) был обнаружен специфический для *E. coli* жгутик. После промывки реактора посредством ЭХАР на поверхности трубки проявляются клеточные фрагменты вытянутой формы (рисунок 83В). После смыва матрикса католитом и анолитом между клетками выявлялись сетевые структуры тонких нитей, а бактерии приобретали округлую форму (рисунок 83Г).

Таким образом, ЭХАР влияет и на клетки *E. coli*, и на матрикс формируемой в реакторе биопленки. Для определения способности такой популяции к регенерации, облегченной заселением новыми микроорганизмами, необходимы дополнительные исследования.

Показано, что у клетки *E. coli* присутствует дополнительный механизм крепления к поверхности ПВХ трубки циркуляционного реактора. На следующем этапе исследовали образцы, полученные в циркуляционном реакторе, на внутренней поверхности трубопровода которого формировали бактериальную пленку МКБ совместно с *E. coli*.

### 7.5 Экспериментальное моделирование бактериальной пленки, сформированной в циркуляционном реакторе бинарной композицией микроорганизмов в условиях застойной зоны

Образование биопленки резко подавляет чувствительность микроорганизмов к антибактериальным средствам [Чеботарь, 2012]. Анализ существующих данных подразумевает сложность обеспечения ей дезинтеграции. Применение метастабильных неиндуцирующих резистентность веществ в составе фракции ЭХАР анолита может быть эффективным методом удаления биопленок.

Известно, что адгезивные свойства биопленок, закрепившихся на внутренней поверхности трубопроводов, обуславливают их дополнительную устойчивость под действием протока воды.

Учитывая, что водопроводные коммуникации на сельскохозяйственных предприятиях, как правило, имеют продолжительную разветвленную структуру, большой интерес представляет изучение эффективности удаления биопленок, в т.ч. в проблемных зонах.

С этой целью был испытан проточный способ обработки внутренней поверхности трубок рециркуляционной системы с целью подбора режимов обеззараживания. Для решения поставленной задачи в рамках рециркуляционной системы были созданы специальные участки модельного трубопровода, имитирующие застойные зоны, способствующие размножению устойчивых микроорганизмов (рисунки 84-86). Результаты эксперимента подтвердили эффективность данной конструкции для оценки изменений микробных биопленок под действием ЭХАР.

В лабораторном реакторе (рециркуляционной установке оригинальной конструкции) культивировали биопленки в протоке загрязненной микроорганизмами воды, взятой из пробы смывов с поилок для животных.



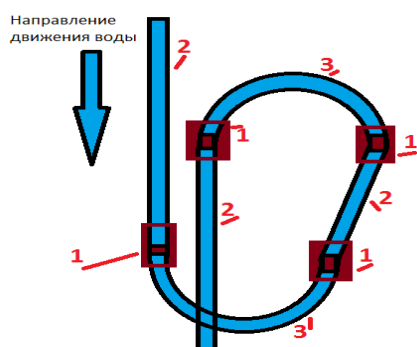


Рисунок 84 – Схема устройства трубопровода из ПВХ, где 1- силиконовая муфта; 2 - прямая ПВХ трубка; 3 - изогнутые участки

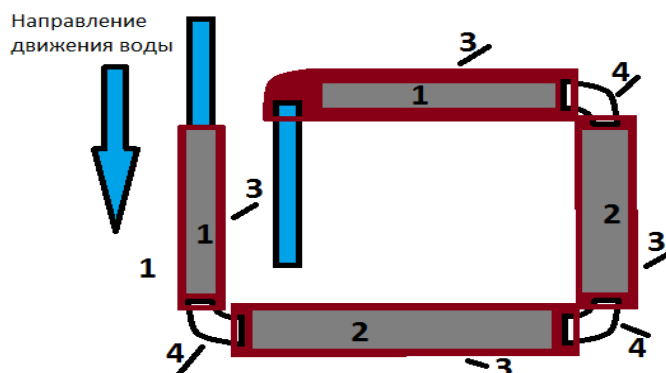


Рисунок 85 – Схема участка модельного трубопровода, имитирующего застойные зоны, способствующие размножению устойчивых микроорганизмов, где 1- трубка 8мм; 2 - трубка 16мм; 3 - силиконовая муфта; 4 - соединительные уголки ПВХ

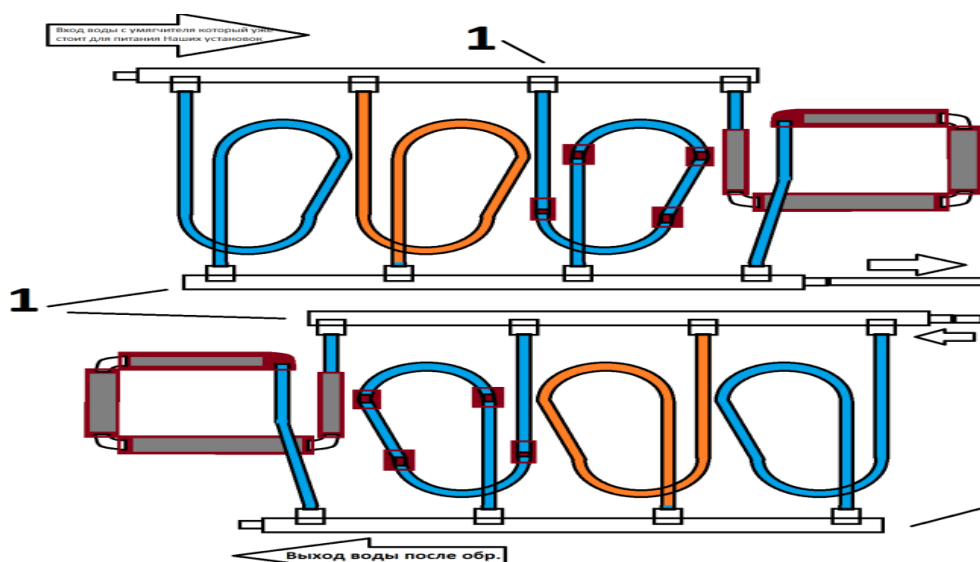


Рисунок 86 – Фрагмент рециркуляционной системы для изучения действия ЭХАР в протоке, где 1 - коллекторы для подачи и слива воды

Микробиологический анализ образцов сформированной пленки на внутренней поверхности трубки из ПВХ рециркуляционного реактора показывает присутствие микроорганизмов разных видов (рисунок 87).

Таким образом, разработанный подход для комплексного морфологического анализа биопленки на поверхности конструктивных элементов систем водопровода можно считать унифицированным.

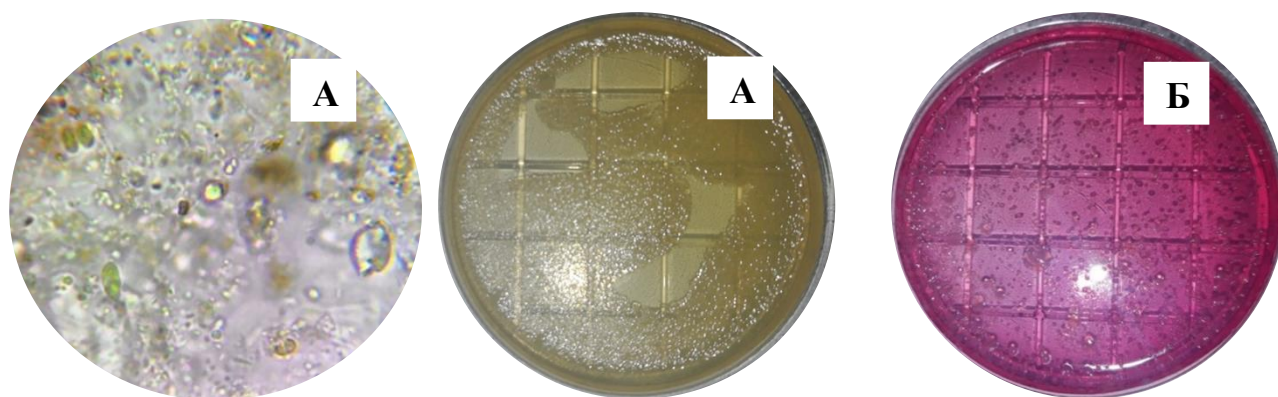


Рисунок 87 – Результаты бактериологического анализа на агаровом геле в чашках Петри, где (А) Сплошной газон, полученный для всей композиции микроорганизмов биопленки, сформированной в рециркуляционном реакторе; (Б) колонии *E.coli*, полученные из биопленки, сформированной в рециркуляционном реакторе

Критерием оценки действия водного раствора с измененным ОВП на клеточную популяцию биопленки в протоке жидкости служили данные морфологического анализа поверхности препарата, представленные на микрофотографиях, полученные посредством SEM.

Поставленную задачу решали посредством действующего лабораторного стенда, позволяющего контролировать условия роста биопленки и ее дезинтеграции. Разработанная система, описанная выше, предназначена для получения бактериальной пленки и ее визуального изучения в потоке водного раствора и/или в застойной зоне циркуляционного реактора.

Учитывая накопленный опыт экспериментального моделирования роста бактериальной пленки, в качестве исходной планктонной формы микроорганизмов использовали композицию МКБ и кишечной палочки. Бинарная система бактерий обеспечивает реализацию основных механизмов формирования биопленки: адгезию к поверхности и механическое зацепление за микрорельеф подложки.

Резистентность биопленки к АБ создает значительные проблемы, загрязняя воду, а в АПК, повреждая оборудование и технологические линии. Образование биопленок в оборудовании различных производств обуславливает необходимость поиска методов их удаления, что обеспечит ресурсосбережение и повышение эффективности [Bakhr, 2018].



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.

Эффективный метод оценки качества удаления биопленки обеспечивается морфологическим анализом поверхностных клеток бактерий и матрикса. Дезинфицирующий эффект ЭХАР обусловлен разрушением основных компонентов бактериальной биопленки. Однако на поверхности остаются микрочастицы матрикса, которые могут стимулировать регенерацию биопленки, что не определяется с помощью оптической микроскопии.

В процессе проводимого исследования по дезинтеграции сообщества микроорганизмов был разработан унифицированный подход для комплексного морфо-микробиологического и генно-молекулярного анализа биопленки на внутренней поверхности конструктивных элементов модельного трубопровода, основываясь на анализе данных бактериологического анализа, морфологического изучения биопленки методом SEM и ПЦР в реальном времени.

В частности, метод SEM позволяет рассмотреть микроструктуру биопленки, подтвердить ее присутствие на поверхности. 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 83 (SEM в режиме вторичных электронов).

По микрофотографии трудно оценить относительное содержание в биопленке микроорганизмов, но в условиях основного потока матрикс выглядит более плотным, визуальнo клетки в основном потоке (рисунок 88а) крупнее, чем в застойной зоне (рисунок 88б).

Различие в размере, возможно, отражает более эффективную доставку субстрата и кислорода основным потоком. Анализ внутренней поверхности трубки реактора показывает, что поток католита удаляет основной объем матрикса вместе с встроенными в него МКБ.

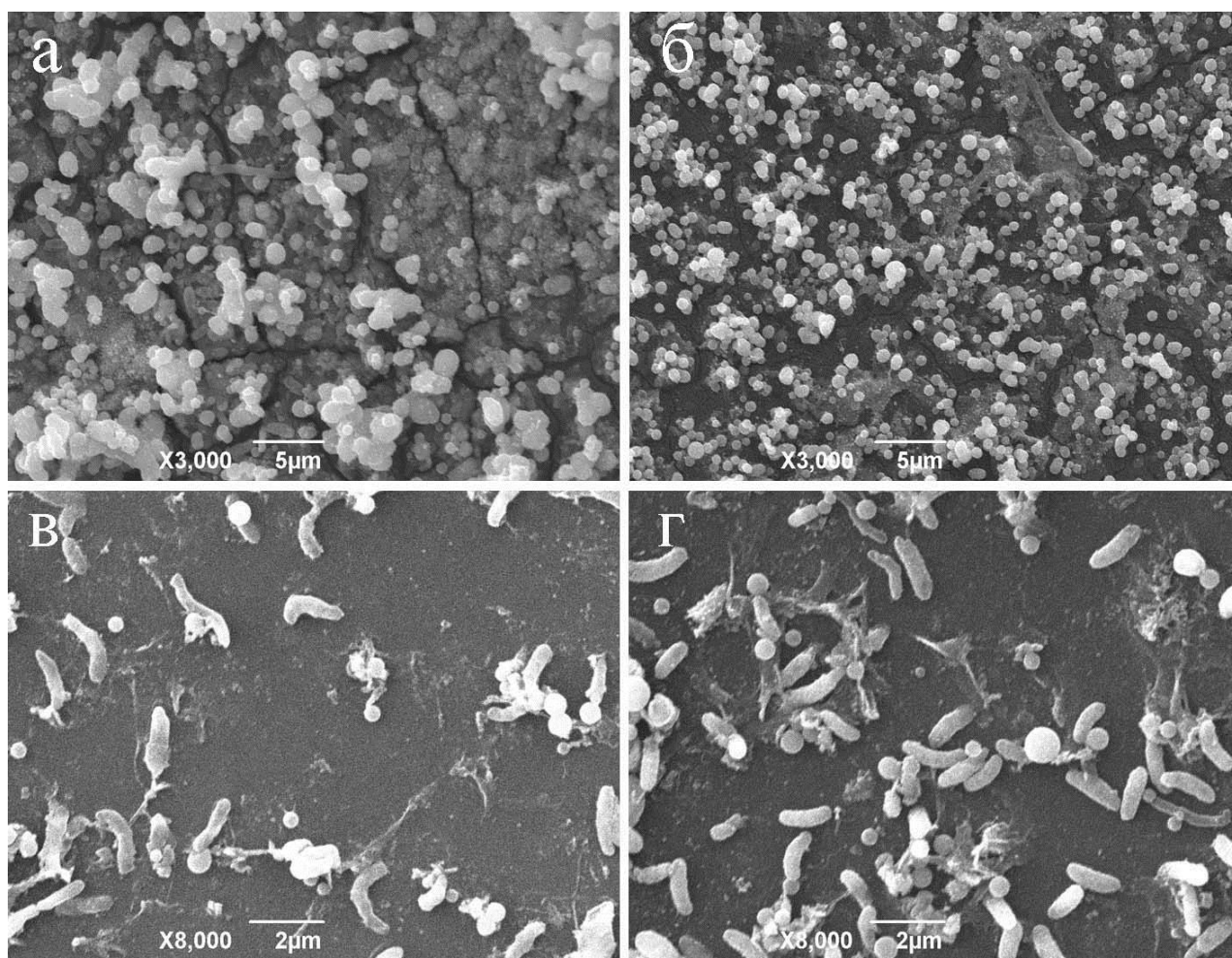


Рисунок 88 – Микрофотографии бактериальной пленки на внутренней поверхности ПВХ трубки реактора в основном потоке или в области застойной зоны, где (а) необработанная бактериальная пленка, сформированная в основном потоке, (б) то же в застойной зоне, (в) бактериальная пленка, сформированная в основном потоке и обработанная католизом, (г) то же в застойной зоне

Подлежащий нижний слой биопленки насыщен кишечной палочкой. Концентрация *E.coli* в области основного потока (рисунок 88в) гораздо меньше, чем в застойной зоне (рисунок 88г), где к тому же чаще встречаются клетки МКБ.

По-видимому, ограниченность застойной области для доступа потока ЕХАР объясняет ухудшение качества удаления биопленки. Отметим ее пространственное строение, которое включает, по крайней мере, три компартмента: матрикс, встроенный в него слой МКБ и нижний слой кишечной палочки, прикрепленный к поверхности подложки.

Показано, что у клетки *E. coli* присутствует механизм фиксации к поверхности посредством фимбрий (*Fimbriae*) длиной от 0,5 до 4 мкм, представляющих со-

бой белковые (пилин) цилиндры, отходящие от клетки, функции которых требуют комплексного изучения.

Результаты эксперимента согласуются с данными литературных источников [Просеков, 2018; Bohinc, 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.

#### 7.6 Генетический PCR-RT анализ эффективности обработки биопленки электрохимически активированным водным раствором

Разнообразие клеточной популяции, внеклеточный матрикс и следы цитоплазмы, остающиеся после перехода клеток из пленки в планктонную форму, относят к ключевым факторам, формирующим пленку как многоклеточной ансамбль [Маянский, 2012; Погорелов, 2018]. В предыдущем разделе отмечено, что в результате обработки католитом удаляются МКБ, но остается клеточная компонента по внешним признакам похожая на *E. coli*.

Эффективность обработки биопленки ЭХАР проверяли методом ПЦР в реальном времени (PCR-RT) по одиночным клеткам и клеточным фрагментам. Дру-

гими словами, на молекулярном уровне оценивали наличие на стенке трубки ПВХ гена кишечной палочки, что служит критерием полноты удаления биопленки, в составе которой находится данная бактерия. Для этого проведен поиск последовательностей праймеров и зонда специфичных к ДНК *E. coli*. Название праймера и нуклеотидная последовательность в праймерах представлены в таблице 55.

Таблица 55 – Олигонуклеотидные праймеры

Название праймера	Нуклеотидная последовательность олигонуклеотидных праймеров
uidA-F2	CTCTTTAGGCATTGGTTTCG
uidA-R2	TTGCTGAGTTTCCCCGTT
uidA-TP2	FAMCTTTCGGCTTGTTGCCCGCTT-RTQ1

Известно, что ген *uidA*, кодирующий синтез фермента  $\beta$ -глюкуронидазы, специфичен для *E. coli* [Дегтярева, 2010]. Для определения ДНК, экстрагированной с внутренней поверхности ПВХ трубки реактора, применяли набор Genomic DNA purification kit (Thermoscientific, #K0512, США).

Концентрацию ДНК *E. coli* определяли посредством набора Quant-iT dsDNA HS Assay kit (Invitrogen, США) на флуориметре Qubit в образцах для ее идентификации методом ПЦР в реальном времени. Генетический анализ с использованием праймеров для этой ДНК проводили с помощью ПЦР-системы 7300 RealTime PCR System (США) с использованием программы из 40 циклов. Пробы денатурировали 5 мин при 95°C, затем 15 сек при 94°C, а последующие отжиг и элонгацию - 60 сек при 60°C. Подробно пробоподготовка описана в [Погорелов, 2018].

На рисунке 89 показаны кинетические кривые для стандарта (Sigma) с известным содержанием ДНК *E. coli* в растворе, на которых для каждой концентрации ДНК определяли числа циклов, необходимых для достижения начала линейного участка.

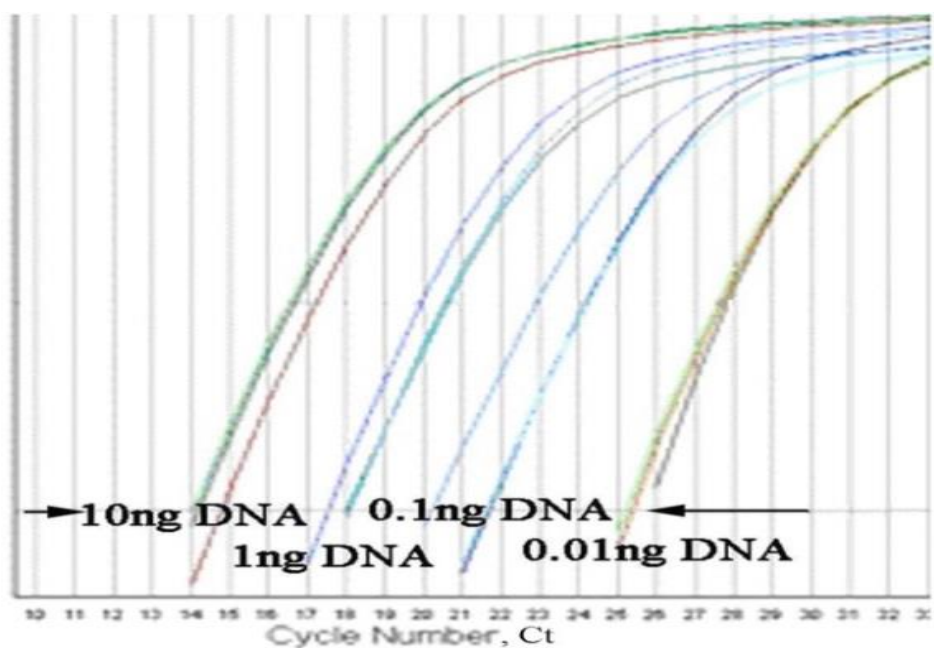


Рисунок 89 – Зависимость количества копий ДНК в растворе от числа циклов ( $C_t$ ) PCR-RT (зонд SyberGreen) для известных концентраций ДНК *E. coli* (Sigma)

Число циклов линейно зависит в логарифмической шкале от концентрации ДНК в растворе. Данные PCR-RT анализа приведены в таблице 56.

Таблица 56 – Количество циклов ( $C_t$ ), необходимое для достижения начала линейного участка PCR-RT кривой тест-образцов, содержащих известное количество ДНК *E. coli* (Sigma) в пробе

Количество в пробе ДНК, нг	Число циклов, $C_t$
10 нг ДНК	14,8
1 нг ДНК	18,1
0.1 нг ДНК	21,1
0.01 нг ДНК	24,4
0.001 нг ДНК	27,6
0 нг ДНК	n/d*
* n/d - количество не определяется	

Данную закономерность описывает выражение, посредством которого можно рассчитать содержание ДНК *E. coli* в анализируемом препарате:

$$C_t = 18 - 3,2 \lg[C_{\text{ДНК}}],$$

где  $C_t$  - число циклов, необходимое для достижения начала линейного участка

при анализируемом содержании ДНК в пробе;  $\lg$  - логарифм по основанию 10; [СДНК] - содержание ДНК в пробе, нг.

Расчеты показывают, что для исследуемых проб образцов трубки необходимое количество циклов (Ct) превышает количество циклов для тест-образцов, содержащих известное количество ДНК *E. coli* (Sigma) в пробе (0,001 нГ).

Количество циклов, необходимое для достижения линейного участка кривой PCR-RT ДНК *E. coli*, для биопленки, сформированной композицией МКБ и *E. coli*, после 3 ч дезинтеграции приведено в таблице 57.

Таблица 57 – Количество циклов (Ct), необходимое для достижения линейного участка кривой PCR-RT ДНК *E. coli*, для биопленки, сформированной композицией МКБ и *E. coli*, после 3 ч дезинтеграции

Способ дезинтеграции бактериальной пленки		
Отмывка водой	Отмывка 10 % NaOH	Отмывка католитом
Ct=35,4	Ct=28,5	Ct=28,1

Относительно низкое содержание ДНК *E. coli* получали в образце, полученном при лизисе биопленки и отмыве только водой, что соответствовало более высокому значению Ct (35,4). Сниженное содержание ДНК может быть обусловлено нахождением популяции кишечной палочки на дне биопленки, где доступность для лизирующего препарата ограничена.

Микрофотографии биопленки, образованной на внутренней поверхности ПВХ трубки реактора и содержащей МКБ и *E. coli* до и после лизиса приведены на рисунке 90. На рисунке 90а представлено наличие клеток *E. coli*, сохранившихся на поверхности после подготовки пробы для генетического анализа. Кроме того, количество нуклеиновых кислот в образцах было гораздо меньше, чем в тест-объекте с минимальной концентрацией ДНК. Это содержание ДНК было на уровне чувствительности метода.

По морфологическим признакам удаление кишечной палочки зависело от метода дезинтеграции. Так, при отмыве водой бактериальная пленка полностью сохранялась (рисунок 90а), а после лизиса на поверхности выявляются отдельные клетки (рисунок 90г).

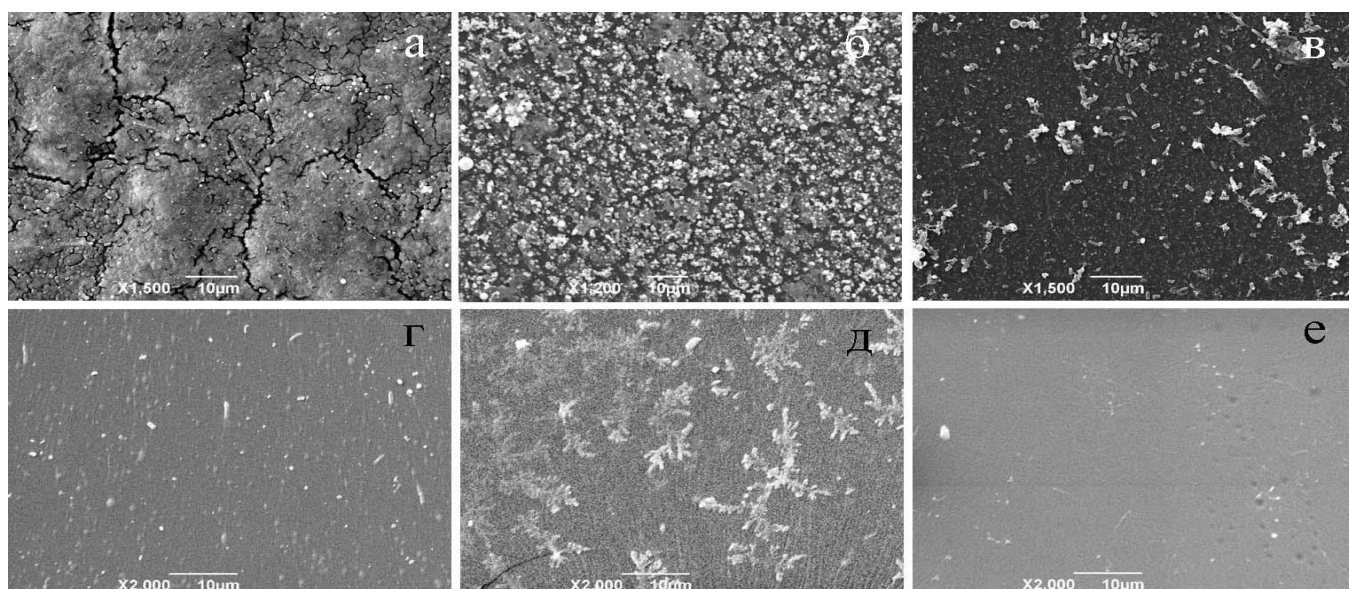


Рисунок 90 – Микрофотографии внутренней поверхности ПВХ трубки циркуляционного реактора с биопленкой, содержащей МКБ и *E. coli*. Изображение получены посредством SEM в режиме вторичных электронов: (а) биопленка, отмытая водой; (б) биопленка, отмытая 10 % водным раствором NaOH; (в) биопленка, отмытая католитом; (г) биопленка, отмытая водой, после лизиса; (д) биопленка, отмытая 10 % водным раствором NaOH, после лизиса; (е) биопленка, отмытая католитом, после лизиса [из Погорелов, 2018; Погорелова, 2020]

При обработке 10 % раствором NaOH препарат был менее плотный (рисунок 90б), чем отмытая водой биопленка (рисунок 90а), но все же содержал существенное количество клеток. Лизис полностью удалял с поверхности *E. coli*, что сопровождалось наличием фрактальных структур (рисунок 90д), являющихся, вероятно, следами повреждения поверхности, обусловленного длительным влиянием щелочи на материал ПВХ трубки.

Обработка биопленки католитом удаляла фракцию МКБ, но сохраняла кишечную палочку (рисунок 90в). После лизиса клеточные компоненты на поверхности данного препарата не сохранялись (рисунок 90е).

Оценка эффективности дезинтеграции бактериальной пленки по критерию наличия остаточных клеточных фракций, может быть выполнена методом ПЦР в реальном времени. Наличие ДНК после отмывки биопленки не означает наличие живых клеток в пробе, так как используемый вариант PCR-RT идентифицирует весь пул нуклеиновых кислот в биологическом материале [Погорелов, 2018].

## 7.7 Молекулярный анализ чистоты поверхности на основе масс-спектропии вторичных ионов (ToF-SIMS) биомолекул

Общим критерием при оценке эффективности дезинтеграции биопленки является чистота поверхности. Удаление клеточной компоненты необходимое, но не достаточное условие для полного разрушения бактериальной пленки. Остаточный слой матрикса, толщиной несколько десятков нанометров, модифицирует свойства поверхности подложки, что способствует быстрой регенерации биопленки. Анализ и исключение риска здоровью - стратегическое направление обеспечения безопасности пищевых продуктов [Попова, 2018; ФАО, 2018; Verran, 2016].

К сожалению, в отсутствии характерных механических повреждений метод SEM не позволяет визуализировать такие однородные биоорганические слои. Данная задача может быть решена посредством молекулярного анализа чистоты поверхности на основе масс-спектрометрии вторичных ионов биомолекул.

С этой целью использован метод ToF-SIMS (time-of-flight secondary ion mass spectroscopy, времяпролетная масс-спектрометрия вторичных ионов). ToF-SIMS позволяет проводить молекулярное картирование, дополняющее традиционные методы исследования. В настоящее время технология микротом исключает необходимость ионного травления и препарат не подвергается необратимому разрушению. Особенности применения указанного метода для анализа биоорганических образцов описаны ранее в [Погорелов, 2018].

Прежде всего, ToF-SIMS используют для определения молекулярного состава тончайшего (~40нМ) слоя поверхности. Принцип метода заключается в бомбардировке проб пучком ускоренных первичных ионов и в разделении вторичных ионов, выбитых с поверхности, по соотношению масса/заряд ( $m/z$ ) посредством масс-анализатора. В работе применен пролетный масс-спектрометр вторичных ионов TOF-SIMS 5 (ION-TOF GmbH, Германия).

Ожидаемым эффектом обработки бактериальной пленки ЭХАР будет отсут-



ствии даже следов матрикса на внутренней поверхности трубки циркуляционного реактора. Полная дезинтеграция биопленки приведет к появлению молекулярного спектра ПВХ, материала трубки, которая образует подложку для биопленки. Не следует исключать того, что в этом случае ЭХАР может вызвать химическую модификацию поверхностного слоя отмытой трубки.

Поэтому сравнивались данные ToF-SIMS анализа чистой трубки, трубки после обработки ЭХАР и трубки, у которой пленку, сформированную МКБ, дезинтегрировали ЭХАР. В молекулярном спектре каждого препарата обнаружены несколько сотен пиков, полный анализ которых требует разработки специальных математических методов сравнения. Характерный вид одного из пиков в комплексном спектре положительных вторичных ионов приведен на рисунке 91.

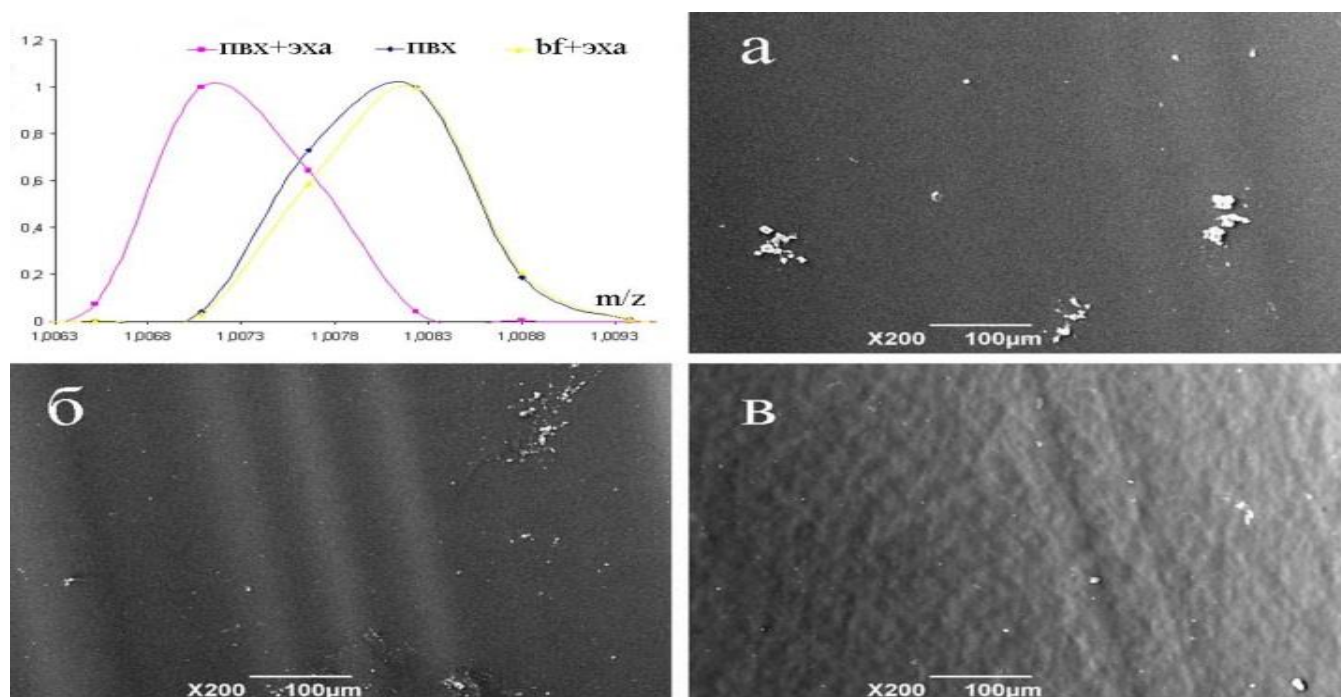


Рисунок 91 – ToF-SIMS молекулярные спектры и микрофотографии внутренней поверхности ПВХ трубки циркуляционного реактора, полученные посредством SEM, где (а) чистая ПВХ трубка – «пвх», (б) чистая ПВХ трубка, обработанная ЭХАР – «пвх+эха», (в) ПВХ трубка после удаления ЭХАР бактериальной пленки, сформированной МКБ, – «bf+эха» [Из Погорелов, 2018; Погорелова, 2020]

Сравнительный анализ показывает практически полное совпадение молекулярных спектров чистой трубки и трубки, с поверхности которой удалили бактериальную пленку. Данный факт свидетельствует о полном удалении биопленки, сформированной МКБ, с поверхности ПВХ трубки после промывки католитом.

SEM соответствующих образцов показывает отсутствие видимых механических (рисунки 86а-86б) и бактериальных загрязнений (рисунок 86в). На поверхности встречаются микронные частицы пыли, которые могут быть привнесены при подготовке препарата.

Сдвиг между пиками чистой трубки и трубки, чья поверхность модифицирована действием ЭХАР, возможно, обусловлен геометрией препарата. Трубка создает кривизну поверхности, фактор, влияющий на время пролета вторичных ионов (рисунок 92).

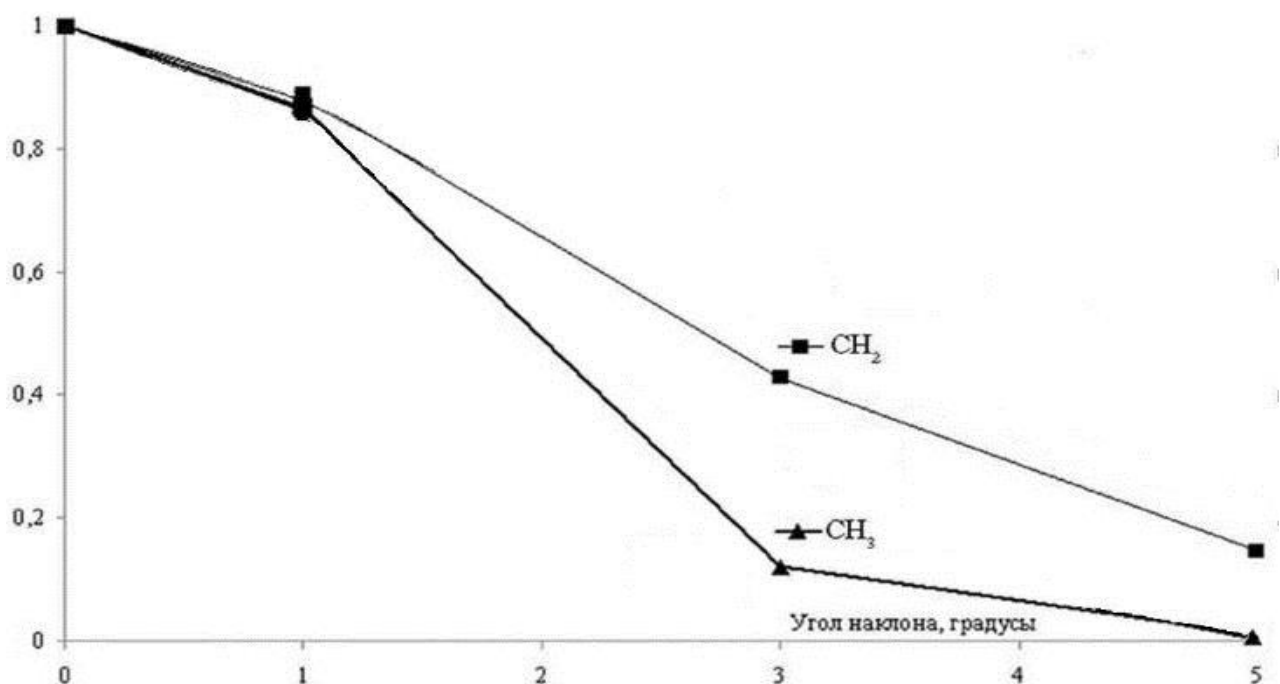


Рисунок 92 – Изменение интенсивности вторичных ионов, эмитируемых с поверхности среза, в зависимости от изменения угла наклона образца по отношению к оси пушке в TOF-SIMS 5 [Из: Погорелов, 2018]

Таким образом, масс-спектрометрия (ToF-SIMS) вторичных ионов обеспечивает молекулярный анализ чистоты анализируемой поверхности. Отметим, результаты ToF-SIMS трудно поддаются нормализации с целью количественного анализа, что обусловлено не только требованием отсутствия кривизны у анализируемой поверхности, но и влиянием матрицы образца на эффективность возбуждения вторичных ионов. Учитывая множественность и разнообразие пиков в спектре, качественный анализ поверхностного слоя также лучше проводить с использованием стандартов исследуемых веществ.

Метод ToF-SIMS не может быть применен в качестве рутинного метода повседневного лабораторного анализа на производстве. Однако молекулярный анализ, наряду с морфологическим контролем, необходим при разработке и внедрении новых методов дезинфекции с тем, чтобы тестировать биохимическую чистоту обрабатываемой поверхности после дезинтеграции биопленки [Погорелов, 2018; Погорелова, 2020].

#### 7.8 Экспериментальное моделирование бактериальной пленки, сформированной в циркуляционном реакторе бинарной композицией микроорганизмов в зависимости от способа обработки

В сравнительном эксперименте исследовали способность анолита к разрушению биопленки, сформированной на поверхности различных материалов: ПВХ, стекло и пищевая нержавеющая сталь (AISI 304). Выбор материалов, обусловлен их различными адгезионными свойствами и тем, что они широко применяются в сельскохозяйственном производстве и пищевой промышленности. В качестве модельных контаминирующих микроорганизмов использовали смешанную культуру МКБ и *E. coli*.

Установлено, что адгезионные свойства изученных материалов существенно различаются, соответственно, для удаления биопленки требуется различное время обработки и концентрация АДВ.

Обе формы ЭХАР оказывали действие на клетки и биоматрикс. С помощью метода SEM с увеличением в 500-10000 раз на лабораторной модели трубопровода было показано, что для всех материалов видимый эффект обработки моющими и дезинфицирующими средствами, приводящий к уничтожению живых микробных клеток, не означает реального удаления матрикса биопленки.

Однократная обработка щелочными растворами (даже при условии высокой концентрации) и в большей степени обработка католитом и анолитом способствовали удалению микробных клеток и приводили к дезинтеграции матрикса, но полное разрушение и смывание было зафиксировано только на стеклянной поверхности для биопленки, сформированной комплексом МКБ.

Наличие остаточных органических веществ является фактором, облегчающим повторное заселение поверхности новыми микроорганизмами, оставшиеся поврежденные фрагменты матрикса способствуют закреплению следующих микробных клеток, служат для них питательным субстратом и создают предпосылки для формирования резистентности микроорганизмов к дезинфектантам.

Степень дезинтеграции биопленки в зависимости от последовательности обработки внутренней поверхности ПВХ ЭХА растворами, значения ОВП которых имели противоположный заряд, отражена на микрофотографиях (рисунок 93).

Одну группу фрагментов трубки с биопленками МКБ и *E. coli* последовательно промывали католитом в течение 3 ч, затем анолитом в течение 20 мин, а другую – в обратном порядке, сначала анолитом в течение 20 мин, затем католитом 3 ч. Общая продолжительность обработки во всех случаях была одинакова.

Изображения на микрофотографиях подтверждают, что биопленки как МКБ, так и *E. coli*, по-разному разрушаются при различном порядке применения высокоокисленных или высоковосстановленных ЭХАР. Степень удаления клеток и биоматрикса с поверхности трубки ПВХ заметно выше в случае применения сначала раствора метастабильных хлоркислородных и гидропероксидных оксидантов с ОВП +800...+900 мВ, а затем щелочного ЭХАР, восстановительные свойства которого характеризуются значениями ОВП в пределах -50...-930 мВ.

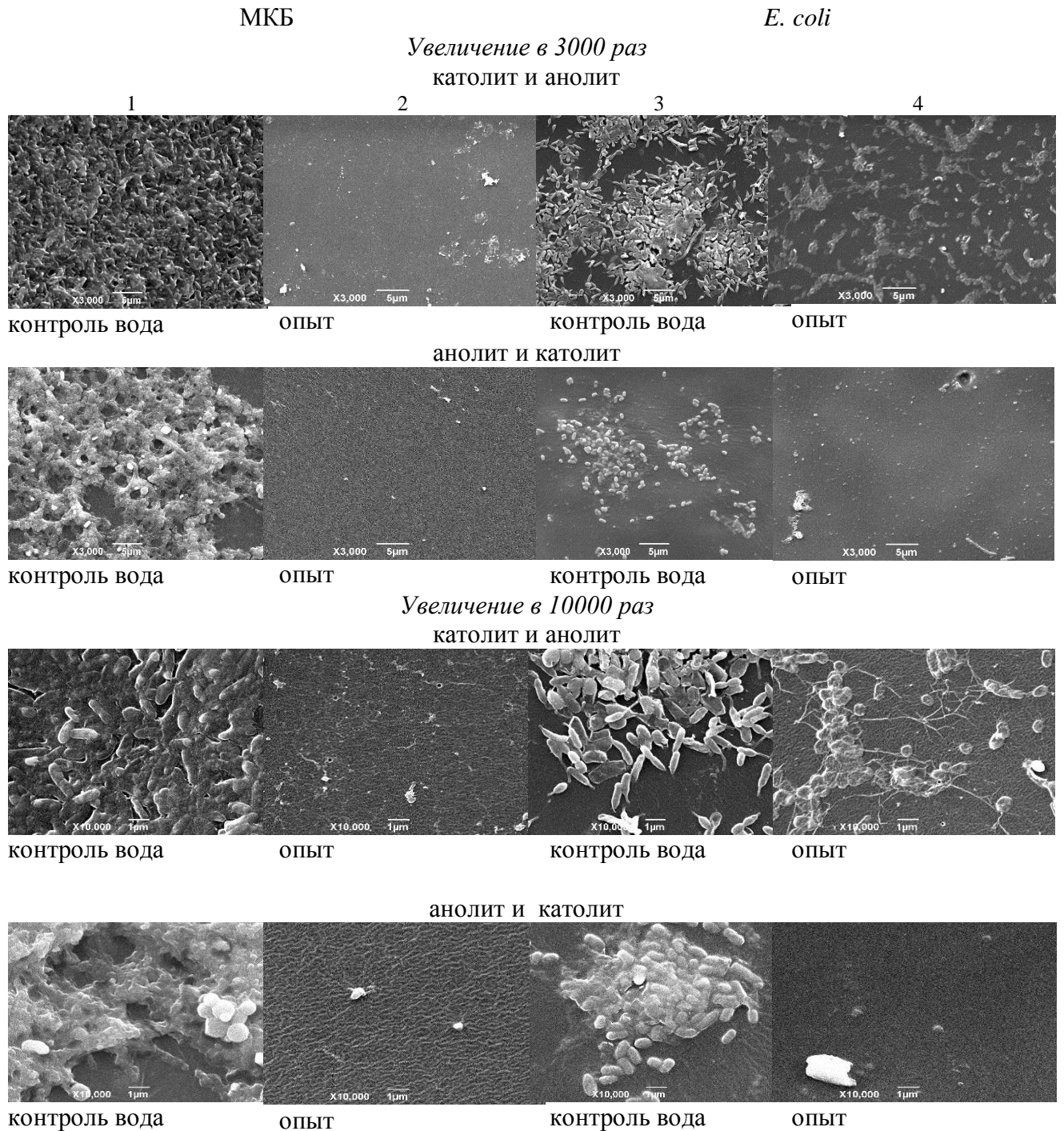


Рисунок 93 – Микрофотографии внутренней поверхности трубки из ПВХ рециркуляционного реактора, полученные посредством SEM с увеличением в 3000, 10 000 раз. Изображение биопленок, сформированных планктонной формой композиции молочнокислых бактерий (столбцы 1,2) и биопленок, сформированных планктонной формой *E. coli* (столбцы 3,4) после обработки по схеме «катодитом, затем анолитом» или «сначала анолитом, затем катодитом»

Можно предположить, что под воздействием на биоматрикс анолита с высоким ОВП между метастабильными АДВ раствора (оксидантами) и биопленкой как микробным биоценозом возникает большая разность ОВП

(градиент ОВП), способная индуцировать изменение вещества матрикса вследствие электронодонорных и электроноакцепторных взаимодействий, приводящих к молекулярным перестройкам экзополимеров.

Основное активное вещество анолита – хлорноватистая кислота по причине ее электронейтральности и небольшого размера молекул диффундирует через массив матрикса и оболочки микробных клеток, не встречая электростатического сопротивления. Внутри микробной клетки хлорноватистая кислота диссоциирует с образованием гипохлорит-иона, который взаимодействует с внутренней стороной клеточной оболочки.

Вероятно, разрушение оболочки микробной клетки происходит изнутри. Вся сумма воздействий анолита на биопленку помимо прямого действия окислителей сопровождается нарушением электростатического равновесия биопленки, подготавливая ее разрушение.

На этом фоне последующее применение метастабильного католита оказывает на биопленку полярно противоположное электрическое воздействие, в щелочной среде углубляющее разрушение клеток и дезинтеграцию биоматрикса.

На основании анализа полученных данных можно сформулировать новый подход к разрушению биопленок, и, следовательно, главную задачу дезинфекции как необходимость удаления матрикса и предотвращение его образования и закрепления на поверхности. Формулирование нового теоретического подхода ставит новые практические задачи:

- подбор экспресс-способа идентификации матрикса на поверхности;
- изучение способности к регенерации микробной популяции, морфологически модифицированной действием ЭХАР;
- подбор режимов систематической обработки поверхности в течение длительного времени ЭХАР с целью замедления и предотвращения формирования биопленки на сложных поверхностях полимерного материала (на примере ПВХ), нержавеющей стали.

Методом SEM установлено, что на формирование и адгезионные способности биопленки в значительной степени влияет материал поверхности. На кон-

трольных (необработанных) поверхностях рост биопленок происходит с различной интенсивностью. В течение культивирования поверхность ПВХ покрывается плотным «ковром» из микробных клеток.

На поверхности стекла и стали, помимо микробных клеток, обнаруживаются равномерно распределенные жировые капли. Комбинированная обработка катодом и анолитом отмывает стекло, но на ПВХ и стальной пластинке не удалось полностью смыть биопленку. На них остались фрагменты матрикса и клетки *E. coli*.

По итогам проведенных экспериментов установлено, что адгезионные свойства разных материалов существенно различаются поэтому, для удаления биопленки требуется различное время обработки и концентраций. Визуальный эффект обработки моющими и дезинфицирующими средствами не означает полного удаления матрикса биопленки.

Степень ее дезинтеграции на поверхности ПВХ заметно выше в случае применения вначале анолита с ОВП  $+800 \div +900$  мВ, а затем щелочного ЭХАР католита с ОВП в пределах  $-50 \div -900$  мВ.

Подобные соединения придают раствору выраженные восстановительные свойства и высокую химическую активность, благодаря чему он обладает высокой смачивающей, проникающей и растворяющей способностью. Основное активное вещество анолита – хлорноватистая кислота диффундирует через массив матрикса и оболочки микробных клеток.

На этом фоне применение католита оказывает на биопленку полярно противоположное электрическое воздействие, в щелочной среде углубляющее разрушение клеток и дезинтеграцию биоматрикса. На основании анализа полученных результатов можно сформулировать новый подход к разрушению биопленок, и как следствие, главную задачу дезинфекции как необходимость удаления матрикса и предотвращение его образования и закрепления на поверхности.

## 7.9 Разработка режима обеззараживания биоцидным раствором модельного трубопровода сложной конфигурации с застойными зонами

Основная задача настоящего этапа заключалась в том, чтобы в контролируемых условиях испытательного стенда получить воспроизводимые результаты моделирования дезинтеграции биопленки ЭХАР. Затем, используя накопленные данные, подобрать режим обеззараживания биоцидным ЭХАР модельного трубопровода сложной конфигурации с застойными зонами.

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 94).

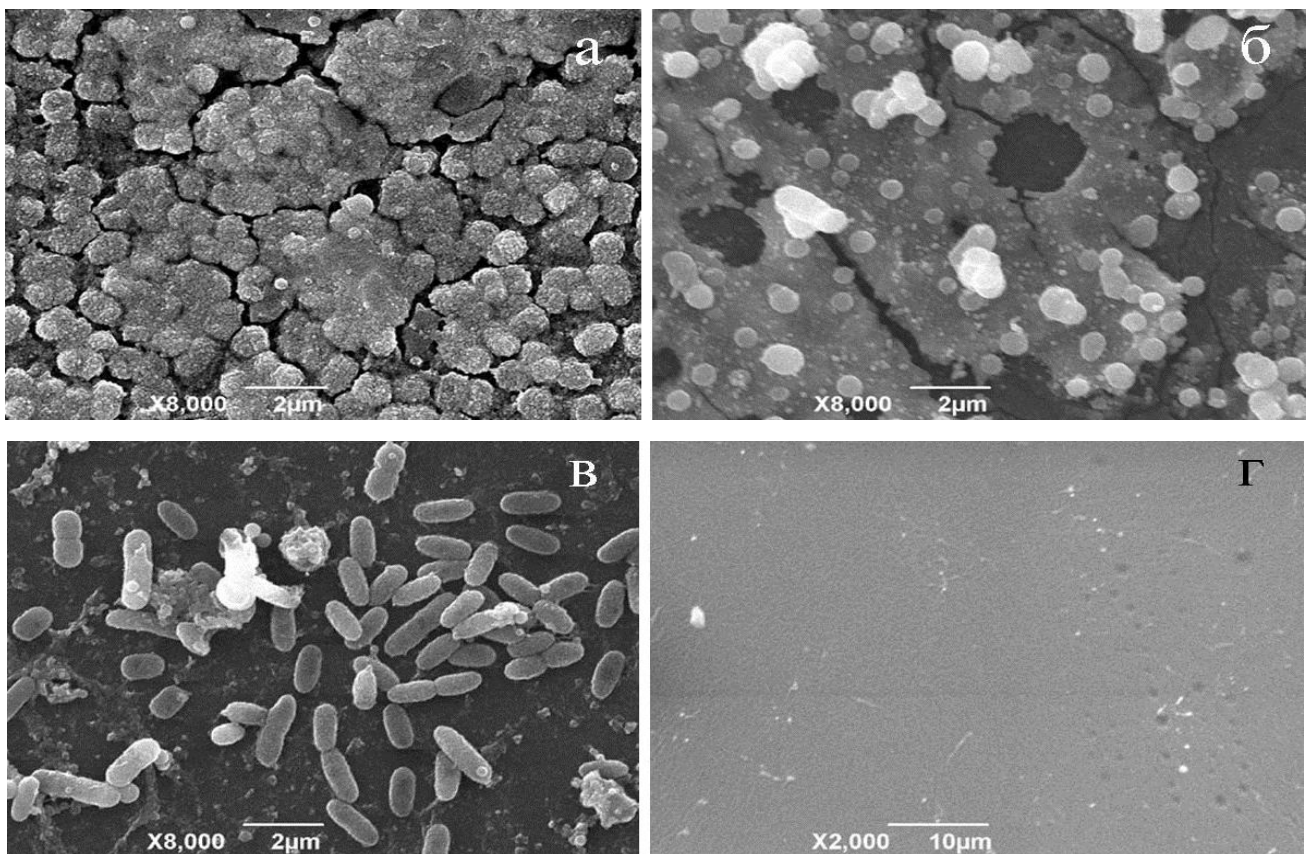


Рисунок 94 – Микрофотографии бактериальной пленки на внутренней поверхности ПВХ трубки циркуляционного реактора отмытой (а) протоком воды из бытового трубопровода, (б) 10 % водным раствором NaOH, (в) католитом; (г) последовательно католитом и анолитом



Промывание трубопровода водой практически не оказывало эффекта (рисунок 94а). Широко применяемый в пищевой промышленности 10 % водный раствор NaOH действует на верхний слой биопленки (рисунок 94б) – многоярусной структуры, обычно свойственной симбиозу микроорганизмов. Выраженную дезинтеграцию бактериальной пленки вызывал католит (рисунок 94в).

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 94г).

SEM соответствующих образцов показывала отсутствие видимых механических и бактериальных загрязнений. На поверхности встречались микронные частицы пыли, которые могут быть привнесены при подготовке препарата. В работе установлен выраженный эффект действия ЭХАР на биопленку, которая представляет собой симбиоз МКБ и *E. coli*.

С учетом специфических особенностей архитектуры и функции биопленок разработаны принципиально новые способы их удаления с использованием «природоподобных» технологий получения биоцидных растворов широкого спектра действия, эффективными, оставаясь одновременно экологически безопасными.

Использование полученных результатов поможет решить проблему безреагентного управления свойствами и поведением сырья в технологической цепочке производства продуктов, в том числе в качестве противозаразительного средства ввиду повышенной устойчивости некоторых микроорганизмов и их «чувство кворума» (QS – Quorum sensing) [Джей, 2012; Просеков, 2018; Bohinc, 2015].

Важно отдельно отметить минимальные температуры роста некоторых микроорганизмов, приведенные в таблице 58.

Таблица 58 – Минимальные температуры роста некоторых микроорганизмов

Микроорганизм	Минимальная температура роста, °С
<i>Розовые дрожжи</i>	-18...-34
<i>Неидентифицированные мицелиальные грибы</i>	-12
<i>Yersinia enterocolitica</i>	-2
<i>Bacillus psychrotolerrans</i>	-2...1
<i>Enterococcus spp.</i>	0
<i>Listeria monocytogenes</i>	1
<i>Lactobacillus alimentarius</i>	2

Таким образом, ЭХАР, обладая высокой антимикробной активностью и широким спектром действия, позволяют повысить эффективность санитарных мероприятий, в том числе решить проблему микробиологической контаминации водопроводных коммуникаций и других агропромышленных объектов бактериальными биопленками, резистентными к дезинфицирующим средствам.

Разработанные технико-технологические решения ориентированы на создание экологически безопасных сельскохозяйственных производств, существенно упрощают поддержание нормального санитарно-эпидемиологического фона на агропищевых предприятиях и снижают опасность контаминирования продовольственного сырья и продукции возбудителями пищевых токсикоинфекций.

#### 7.10 Заключение по седьмой главе

Разработанные приемы использования универсальных дезинфектантов позволят обеспечить качество и безопасность продуктов питания без ущерба здоровью потребителей и производительным мощностям и станут основой для разработки новых направлений применения ЭХАР в агропищевых производствах. В рамках выполнения исследования создан лабораторный циркуляционный реактор,

в котором воспроизводятся условия роста биопленки и контролируются параметры протокола ее удаления.

Обработка бактериальной пленки ЭХАР, разрушая основные компоненты биопленки, производит значительный очищающий и обеззараживающий эффект. Заселение *de novo* поверхности подложки микроорганизмами возможно в случае остаточной органической массы.

Особое внимание в работе уделено разработке способа повышения биологической безопасности на предприятиях общественного питания и АПК посредством применения метастабильных ЭХАР. Разработан эффективный и доступный метод снижения патогенной и условно-патогенной флоры, комбинируемый с уже используемыми методами на предприятиях.

Разработаны протоколы обеззараживания водопроводных конструктивных узлов посредством ЭХАР с противоположными значениями ОВП с учетом гидродинамических особенностей магистралей. Отмывка застойных зон даже при агрессивном химическом воздействии является длительной и трудозатратной, не всегда обеспечивающей результат.

Установлено, что оба типа ЭХАР (католит и анолит) оказывают повреждающее действие на клетки и матрикс бактериальной пленки. Наиболее выраженные эффекты проявлялись после использования 10 % католита, анолита (500 мг/дм<sup>3</sup> смеси хлоркислородных и пероксидных оксидантов в эквиваленте активного хлора) и их последовательной комбинации.

Показано, что и католит, и анолит оказывают повреждающее действие на клетки и матрикс бактериальной пленки. Наиболее сильные эффекты выявлялись после использования щелочного католита (ОВП -50...-930 мВ), анолита (0,05 % АДВ, ОВП +800...+1000 мВ) и их комбинации. Подтверждена зависимость степени дезинтеграции биопленки от ОВП раствора, концентрации АДВ, продолжительности обработки, температуры. Эффект от применения католита с отрицательным значением ОВП превосходил эффект от применения неактивированного раствора NaOH с ОВП +25...+30 мВ аналогичной концентрации.

Эффективность низкоконцентрированного (0,05 % АДВ) нейтрального (pH 5,0-6,5) анолита оказалась выше, чем эффективность сильнощелочного (pH 13,5-13,7) раствора NaOH (10 % АДВ). Данные микробиологического анализа и SEM подтверждают эффективность использования анолита для удаления с поверхности трубок ПВХ клеток *E. coli*, МКБ и их смешанной культуры.

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.

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 обсемененности с поверхности продуктов, материалов, оборудования и водопроводных линий предприятий.

Таким образом, исследовано влияние ЭХАР на микроорганизмы в системе биопленок - сообщества колоний, погруженных во внеклеточный полимерный матрикс, прикрепленный к поверхности. Так как внутри биопленок резистентность штамма резко повышается (что существенно усложняет их уничтожение для поддержания необходимого санитарно-эпидемиологического состояния на пищевых предприятиях) предлагается система технологических решений, предусматривающих антимикробное воздействие на различные объекты без применения химических препаратов, но с использованием химических соединений в метастабильном состоянии, что особенно важно с точки зрения охраны окружающей среды.

ЭХАР при хранении постепенно переходят в стабильные (исходные) в результате серии самопроизвольных структурно-энергетических и химических превращений. Получение таких метастабильных соединений в воде путем растворения химических реагентов невозможно вследствие уникальности условий электрохимического синтеза.

Результаты интеллектуальной деятельности оформлены в виде патентов: устройства для исследования биообрастания и воздействия дезинфицирующих средств на биопленки в протоке (патент №№ 178083, 179657, 194989), для очистки гидропонного покрытия (патент № 188140) и обработки плодоовощной продукции (патент № 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

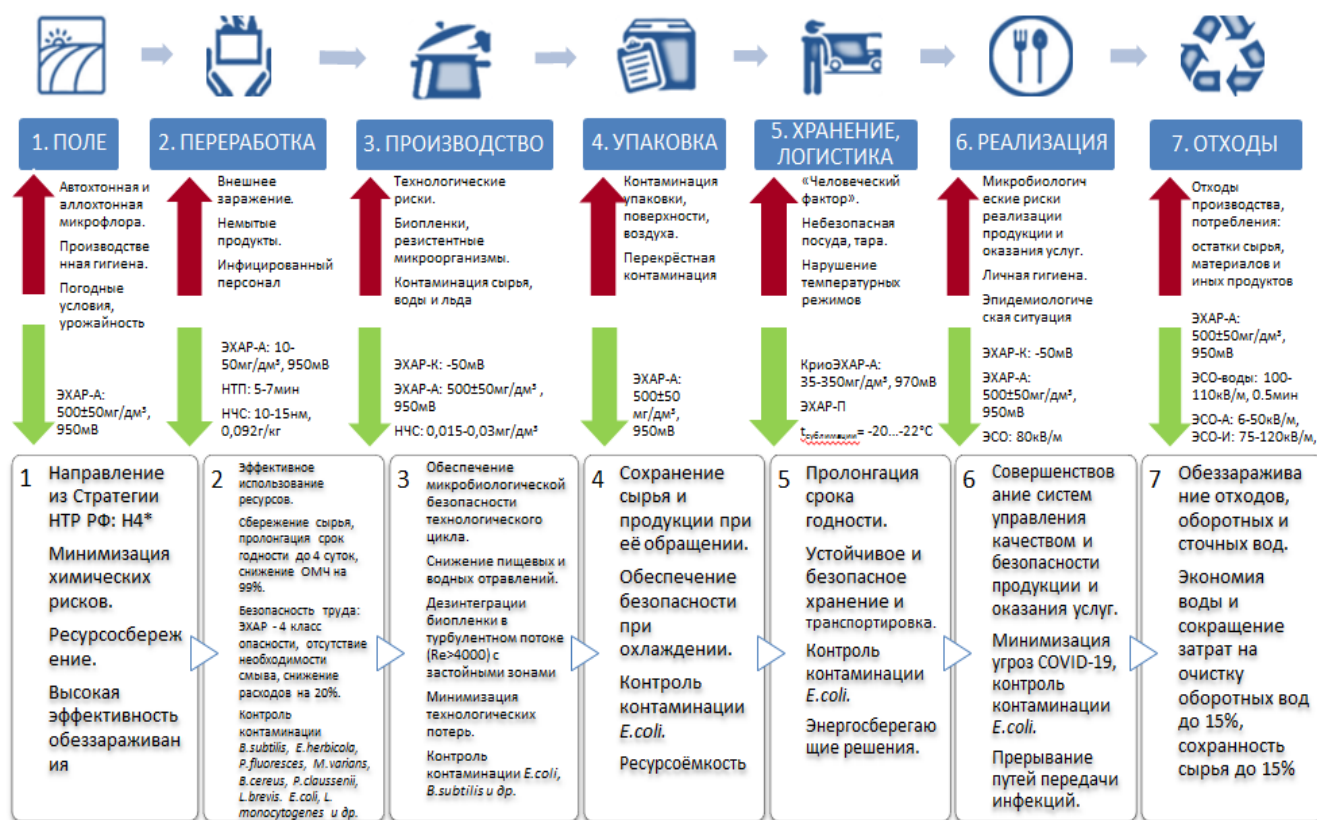
8.1 Жизненный цикл продукта:  
обеспечение безопасности и ресурсосбережения

Основные положения политики государства в области качества и безопасности пищевых продуктов и санитарно-эпидемиологического благополучия населения изложены в Федеральных законах № 29-ФЗ (с изм. на 13.07.2020 г.) и № 52-ФЗ (с изм. на 13.07.2020 г.). 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.).

Наибольшую опасность в агропромышленном производстве и пищевой индустрии представляют микроорганизмы, вызывающие болезни человека, животных и растений. Анализ существующих приемов и методов борьбы с микроорганизмами позволяет установить, что эффективными и безопасными для человека и животных являются только те способы борьбы с микрофлорой и токсическими продуктами биологического происхождения, в результате которых не образуются устойчивые вещества – ксенобиотики.

Разработка технологии получения среды, физико-химические параметры которой при взаимодействии с микрофлорой обеспечивают возникновение активных короткоживущих частиц, нарушающих жизненные биологические процессы микроорганизмов всех видов и форм (бактерии, вирусы, грибы, споры) направлена на защиту растений и животных, сохранение продукции агропромышленного производства, создание условий для получения высококачественных продуктов питания, соответствующих самым высоким требованиям.

Полученные научно-технические результаты позволяют реализовать экологичные технологии на основе высокоэффективных методов обеззараживания на стадиях жизненного цикла продукта, что способствует инновационному и импортозамещающему развитию сегментов индустрии питания, сельского хозяйства и продовольствия, снижению потерь от социально значимых и представляющих опасность для окружающих заболеваний (рисунок 95).



\* Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утверждена Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 года № 642. Направление Н4 Переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных, в том числе функциональных, продуктов питания.

ЭХАР: А – анолит, К – католит, П – пероксид; КриоЭХАР – замораживание и обеззараживание анолитом; ЭСО: А / И – активирование / ингибирование микроорганизмов

Рисунок 95 – Стадии жизненного цикла продукта от поля до обеззараживания отходов: обеспечение безопасности и ресурсосбережения

Выполненные фундаментальные, поисковые и прикладные научные исследования вносят значительный вклад в развитие агропищевой отрасли и индустрии питания, конечной целью которых является увеличение выпуска, улучшение качества и безопасности, повышение эффективности производства продуктов общественного питания.

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.

Разработанные способы применения коллоидных растворов НЧС (10-15 нм) с концентрациями, соответствующими нормативным документам (ВОЗ, СанПиН 2.1.4.1074-01), применимы для снижения уровня микробиологической контаминации зерновых культур (пшеница, рожь, ячмень) как сырья для изготовления различных продуктов, блюд и напитков и в процессе дрожжегенерации в зерноперерабатывающей промышленности, хлебопечении и в общественном питании

Разработанные решения на основе ЭХАР хлоркислородных и гидропероксидных метастабильных оксидантов, НТП и сублимации обеспечивают биологическую безопасность продовольственного сырья растительного и животного происхождения в течение пролонгированного срока годности, эффективное разрушение бактериальной биопленки.

Посредством системного риск-ориентированного подхода решена одна из ключевых задач исследования - создание высокоэффективной экологически чистой системы обеззараживания объектов АПК и индустрии питания от патогенных микроорганизмов, существующих в форме микробных биопленок, что особенно важно, так как многослойная пространственная организация и наличие механизмов поддержания гомеостаза делают пленку устойчивой к действию многих химических физических и других факторов. Низкая чувствительность биопленок к известным антимикробным средствам и способам дезинфекции приводит к за-



ражению технологических линий, заболеваниям растений, порче сельскохозяйственной продукции в процессе хранения и переработки.

Выявленные режимы ЭСО позволяют проводить процесс активации микроорганизмов при напряженности ЭСП 6-50 кВ/м, ингибирования - при 75-120 кВ/м, что актуально для предприятий пищевой и биотехнологической промышленности, включая обеззараживание сточных и оборотных вод.

Разработанные в работе 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.

Разработанные рекомендации предприятиям АПК и индустрии питания по обработке растительного сырья и продукции, помещений, оборудования на объектах пищевой промышленности, индустрии питания, продовольственной торговли, по обеспечению безопасности пищевых продуктов и организации общественного питания как на месте изготовления, так и вне его, утверждены начальником управления развития отраслей сельского хозяйства Министерства сельского хозяйства и продовольствия Московской области (2019 г.) - приложение Б.

## 8.2 Производственные испытания и апробация результатов исследования.

Социальная значимость и технико-экономическая эффективность предложенных технико-технологических решений

Основные положения политики государства в области питания и санитарно-эпидемиологическом благополучии населения изложены в Федеральных законах № 29-ФЗ «О качестве и безопасности пищевых продуктов» (с изм. на 13.07.2020 г.) и № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» (с

изм. на 13.07.2020 г). Одним из приоритетных направлений Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (утв. Указом Президента РФ № 642 от 01.12.2016) является переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения средств химической и биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка продукции, создание безопасных и качественных продуктов питания.

Потребность в обеспечении безопасности продуктов питания и управлении их качеством на всех этапах жизненного цикла является одной из стратегических задач. Реализация исследований ориентирована на совершенствование научно-практической базы по приоритетному направлению развития науки, технологий и техники, по критической технологии снижения потерь от социально значимых и представляющих опасность для окружающих заболеваний, с учетом принципов и этапов внедрения CODEX HACCP и положений, предусмотренных Указом Президента РФ № 97 от 11.03.2019, при обеспечении химической и биологической безопасности на период до 2025 г. и дальнейшую перспективу.

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 электрохимически активированными растворами 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.

Реализована прикладная задача испытаний - разработка высокоэффективных способов управления безопасностью на предприятии общественного питания посредством ЭХАР без использования дополнительных химических реагентов.

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

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

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, белокачанная 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.

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 не востребованных в течение года 17 млн т еды оценивается в 1,6 трлн руб.

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 способствует пролонгации срока годности и расширению ассортимента продуктов длительного хранения.

Развитие сублимационных решений направлено на расширение ассортимента продуктов длительного хранения, при этом, энергозатраты при сублимационной сушке составляют 8,3 кВт\*ч в то время как потребность в электроэнергии

при выпечке и приготовлении блюд составляет от 1,0 до 12,1 кВт\*ч. При цене, равной 4,68 руб. за 1 кВт\*ч стоимость электроэнергии составит 38,84 руб при сублимации и от 4,68 до 56,63 руб при выпечке и приготовлении, соответственно. Калькуляция и расчет себестоимости сырьевого набора на примере капкейков ванильных с малиной приведены в таблице 59.

Таблица 59 – Калькуляция и расчет себестоимости сырьевого набора для капкейков

Наименование сырья	Брутто на 20 порций, кг	Нетто на 20 порций, кг	Брутто на 100 порций, кг	Нетто на 100 порций, кг	Цена за 1 кг, руб.,коп.	Стоимость 100 порций, руб.,коп.
Масло сливочное несоленое	0,115	0,115	0,575	0,575	620,00	356,50
Сахар белый	0,3	0,3	1,5	1,5	48,90	73,35
Ванильный сахар	0,036	0,036	0,18	0,18	1038,00	186,84
Яйцо куриное	2 шт,	0,09	10 шт,	0,45	59,00	59,00
Мука пшеничная	0,282	0,28	1,41	1,4	42,30	59,22
Разрыхлитель теста	0,012	0,012	0,06	0,06	968,00	58,08
Соль поваренная пищевая	0,002	0,002	0,01	0,01	9,00	0,09
Молоко 3,2 %	0,3	0,3	1,5	1,5	65,00	97,50
Малина сублимированная	0,035	0,035	0,175	0,175	4400,00	770,00
Итого						1669,58

Себестоимость сырьевого набора для 1 порции капкейков ванильных с малиной составляет 16,7 руб. Себестоимость напитка из сублимированных ягод с медом «Черничный» составляет 75 руб., напиток «Ягодный коктейль» – 87,5 руб. Калькуляция и расчет себестоимости сырьевого набора на примере каш гречневых с сублимированным мясом приведены в таблицах 60-62.

Таблица 60 – Калькуляция и расчет себестоимости сырьевого набора для блюда «Каша гречневая с сублимированной говядиной»

Наименование сырья	Брутто на 1 порцию, кг	Нетто на 1 порцию, кг	Брутто на 100 порций, кг	Нетто на 100 порций, кг	Цена за 1 кг, руб.,коп.	Стоимость 100 порций, руб.,коп.
Каша гречневая	0,08	0,14	8	14	70,00	560,00
Мясо говяжье	0,16	0,1	16	10	370,00	5920
Масло подсолнечное рафинированное	0,005	0,005	0,5	0,5	82,00	41,00
Соль поваренная пищевая	0,005	0,005	0,5	0,5	13,00	6,50
Итого						6527,5

Таблица 61 – Калькуляция и расчет себестоимости сырьевого набора для блюда «Каша гречневая с сублимированной свининой»

Наименование сырья	Брутто на 1 порцию, кг	Нетто на 1 порцию, кг	Брутто на 100 порций, кг	Нетто на 100 порций, кг	Цена за 1 кг, руб.,коп.	Стоимость 100 порций, руб.,коп.
Каша гречневая	0,08	0,14	8	14	70,00	560,00
Мясо свиное	0,16	0,1	16	10	420,00	6720,00
Масло подсолнечное рафинированное	0,005	0,005	0,5	0,5	82,00	41,00
Соль поваренная пищевая	0,005	0,005	0,5	0,5	13,00	6,50
Итого						7327,5

Таблица 62 – Калькуляция и расчет себестоимости сырьевого набора для блюда «Каша гречневая с сублимированным свиным фаршем»

Наименование сырья	Брутто на 1 порцию, кг	Нетто на 1 порцию, кг	Брутто на 100 порций, кг	Нетто на 100 порций, кг	Цена за 1 кг, руб.,коп.	Стоимость 100 порций, руб.,коп.
Каша гречневая	0,08	0,14	8	14	70,00	560,00
Фарш свиной	0,16	0,1	16	10	380,00	6080,00
Масло подсолнечное рафинированное	0,005	0,005	0,5	0,5	82,00	41,00
Соль поваренная пищевая	0,005	0,005	0,5	0,5	13,00	6,50
Итого						6687,5

Таким образом, себестоимость сырьевого набора для 1 порции блюда «Каша гречневая с сублимированной говядиной» составляет 65 руб. 50 коп., для 1 порции блюда «Каша гречневая с сублимированной свининой» - 73 руб. 27 коп., для 1 порции блюда «Каша гречневая с сублимированным свиным фаршем» - 66 руб. 87 коп.

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 (таблицы 63-67).

Таблица 63 – Сравнение состава анолита и некоторых традиционных средств, вирулицидные режимы дезинфекции поверхностей которых могут быть эффективны в отношении вирусов, в т.ч. коронавируса, вызывающего Covid-19\*

Средство дезинфицирующее	Состав средства	Режим дезинфекции		Средняя цена, руб за 1л/кг**
		Применение	Мин.	
Dezamine A	Изопропанол-63%-73%, алкилдиметилбензиламмоний хлорид-0,05%-0,09%	Не разбавляют	15	Нет данных
Kiehl-RapiDes	Этиловый спирт-50%-60%	Не разбавляют	30	Нет данных
Organell	Изопропиловый спирт-67%, алкилдиметилбензиламмоний хлорид-0,06%	Не разбавляют	10	450
АБСОЛЮ-СЕПТ элит	Изопропанол-65%, смесь ЧАС-0,2%, вспом. компоненты: гуанидин и производное фенола (спирт бензиловый)	Не разбавляют, наносят на предварительно очищенную поверхность	3	481,39
Алкоперит	Перекись водорода-5,5%, этанол-35%	Не разбавляют	20	Нет данных
Альписептик форте	Изопропанол-73%, алкилдиметилбензиламмоний хлорид-0,11%, полигексаметиленгуанидин гидрохлорид-0,03%	Не разбавляют	15	Нет данных
Альтсепт	Изопропанол-50%, n-пропанол-20%, хлоргексидина биглюконат-0,5%	Не разбавляют	10	693,68
Анавидин-Экспроф	Сополимер солей гексаметиленгуанидина-0,8%, смесь ЧАС-0,2%	Не разбавляют, наносят на очищенную поверхность	5	813,22
<b>Анолит АНК Супер</b>	<b>Соединения хлора, в пересчете на активный хлор - 0,05%</b>	<b>Не разбавляют</b>	<b>15</b>	<b>Нет данных</b>

\* По данным Национального справочно-аналитического портала о дезсредствах, зарегистрированных на территории Российской Федерации <http://dezreestr.ru> на 07.01.2021;  
 \*\* Рассчитана по актуальным на дату публикации данным поставщиков, размещаемых на портале (заводская форма выпуска).



Экономическая эффективность применения анолита во многом зависит от его цены. В таблице приведены данные о применяемых без разбавления режимах и стоимости дезсредств отечественных и зарубежных производителей. Анолит является готовым раствором, который просто получать из установок СТЭЛ на местах применения в необходимых количествах. В расчете ниже не указана стоимость установок СТЭЛ. Приведен расход реагентов и электроэнергии, потребляемых одной установкой «СТЭЛ-АНК-СУПЕР» на производство 100 дм<sup>3</sup>/ч Анолита АНК СУПЕР с концентрацией оксидантов 500 мг/дм<sup>3</sup>.

Таблица 64 – Расход реагентов и электроэнергии, потребляемых одной установкой «СТЭЛ-АНК-СУПЕР» на производство 100 дм<sup>3</sup>/ч Анолита АНК СУПЕР с концентрацией оксидантов 500 мг/дм<sup>3</sup>

Сырье и электроэнергия	Ед. изм.	Ставка, руб.	Кол-во	Цена, руб.
Вода (вход)	м <sup>3</sup>	34,70	0,11	3,81
Водоотведение	м <sup>3</sup>	27,08	0,11	2,98
Соль таблетированная	кг	22,00	0,06	1,32
Электричество	кВт	3,62	0,375	1,36
Стоимость 100 л Анолита АНК СУПЕР				9,43
Стоимость 1 л Анолита АНК СУПЕР				0,09

Низкая по сравнению с другими дезсредствами стоимость Анолита АНК СУПЕР - показатель экономичности и быстрой окупаемости. Расходы денежных средств предприятия за год на получение на месте Анолита АНК СУПЕР из установок «СТЭЛ-АНК-СУПЕР» составили 912,5 тыс.руб.

Таблица 65 – Расход денежных средств за год на использование Анолита АНК СУПЕР

Средняя потребность ресторана в анолите в сутки, дм <sup>3</sup>	Работа ресторана сутки/год	Годовая потребность ресторана в анолите, дм <sup>3</sup>	Стоимость 1 дм <sup>3</sup> анолита, руб.	Расход ден. средств на получение анолита в год, руб.
50	365	18250	50	912500

Расходы на проведение рекламной кампании и экономическая эффективность разработанной стратегии приведены ниже.

Таблица 66 – Расходы на проведение рекламной кампании

Средства размещение рекламы	Количество	Цена за ед. (руб.)	Итого (руб.)
Плакаты	10	1000	10000
Штендер	2	23700	47400
Пилон	2	30000	60000
Буклеты	200	50	10000
Итого			127400

Таблица 67 – Экономический эффект

Прирост посетителей (человек в день в одном ресторане)	Прибыль с одного гостя (руб.)	Дополнительная прибыль в год (тыс. руб.)	Затраты (тыс. руб.)		Экономический эффект (тыс. руб.)
30	200,0	2190	Затраты на производство анолита для уборки и обработки сырья	912,5	
			Затраты на рекламную кампанию	127,4	
Итого		2190,0		1039,9	1150,1

В связи с тем, что дезинфицирующее средство Анолит АНК СУПЕР имеет широкий спектр действия с высокой антимикробной активностью при малой концентрации АДВ и исключает возможность выработки к нему резистентности патогенных микроорганизмов в течение длительного периода, то отсутствует необходимость его периодической смены в отличие от других дезсредств.

Таким образом, 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 об-

щественного питания и АПК проблемы снижения микробной контаминации, так и конкретных задач более узких областей, – обеззараживания пищевого сырья и водных систем.

### 8.3 Заключение по восьмой главе

Показана возможность практического использования результатов исследования в целях экономического роста и социального развития посредством повышения качества и безопасности производимой продукции общественного питания и организации услуги питания, усовершенствования применяемых традиционно технологий.

Реализована разработка экологически безопасного высокоэффективного способа прерывания путей передачи инфекции на объектах пищевой промышленности, продовольственной торговли, предприятиях общественного питания, в том числе расположенных в местах массового скопления людей. Снижение экологических рисков позволяет не только сокращать ущерб объектам окружающей среды, но и повышать экономическую эффективность предприятий АПК и индустрии питания посредством безотходных технико-технологических решений.

Полученные результаты и реализованный комплекс промышленной апробации, производственных испытаний и внедрения разработанных технологических решений, выполненный на предприятиях общественного питания и пищевой промышленности, подтверждают существенный социально-экономический вклад в развитие агропищевой отрасли и индустрии питания, конечной целью которых является увеличение выпуска, улучшение качества, обеспечение безопасности и эффективности производства продуктов питания на всех этапах их жизненного цикла.

Практическое применение полученных результатов подразумевает минимизацию химических рисков, используемых для воздействия на объекты, отражающие различные звенья трофической цепи, что в конечном итоге будет способствовать повышению уровня потребления населением России высококачественных и безопасных продуктов общественного питания.

## 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 подхо-

да 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 clausenii*, *Pseudomonas fluoresces* (пат. № 2584603) с МИК в жидкой  $(0,5–1,0) \cdot 10^{-3}$  г/дм<sup>3</sup> и твердой  $(1,5–2,5) \cdot 10^{-3}$  г/дм<sup>3</sup> 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 живот-

ного 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  $-150 \pm 100$  мВ) и анолитом (эквивалент активного хлора  $450 \pm 50$  мг/дм<sup>3</sup>, ОВП  $950 \pm 50$  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, сохран-

ность 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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

АБ – антибиотики.

АДВ – активное действующее вещество.

АФК – активные формы кислорода.

БГКП – бактерии группы кишечных палочек.

ВСС – вакуумная сублимационная сушка.

ГКПМ – государственная коллекция патогенных микроорганизмов.

ЖЦ – жизненный цикл.

КМАФАнМ – количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов.

КОЕ/см<sup>3</sup> (г) – колониобразующая единица в 1 см<sup>3</sup> (г) продукта.

МИК – минимальная ингибирующая концентрация.

МКБ – молочнокислые бактерии.

НТП – низкотемпературная плазма.

НЧ – наночастицы.

НЧС – наноразмерные частицы серебра.

ОВП – окислительно-восстановительный потенциал.

ОМЧ – общее микробное число.

ПВХ – поливинилхлорид.

ПЦР – полимеразная цепная реакция.

СГР – свидетельство о государственной регистрации.

ЭСО – электростатическая обработка.

ЭСП – электростатическое поле.

ЭХА – электрохимическая активация, электрохимически активированный.

ЭХАР – электрохимически активированный раствор.

ERW (electrochemically reduced water) – электрохимически восстановленная вода.

FAO (Food and Agriculture Organization) – продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН.

FDA (Food and Drug Administration) – управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов, агентство Министерства здравоохранения и социальных служб США.

HMDS (Hexamethyldisilazane) – гексаметилдисилазан.

NOAEL (No-Observed-Adverse-Effect Level) – уровень отсутствия наблюдаемого неблагоприятного воздействия.

Real-time PCR (Real-Time Polymerase Chain Reaction, PCR-RT) – 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.

QS (Quorum sensing) – «чувство кворума».

WHO (World Health Organization) – Всемирная организация здравоохранения.

## СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

**Анализ:** метод исследования посредством умственной или фактической декомпозиции единого целого на составные части.

**Биологическое потребление кислорода (БПК):** количество кислорода, израсходованное на аэробное биохимическое окисление под действием микроорганизмов и разложение нестойких органических соединений, содержащихся в исследуемой воде.

**Контактные поверхности:** поверхности оборудования и кухонных принадлежностей, с которыми обычно соприкасаются пищевые продукты.

**Кухонные принадлежности:** предметы, используемые при производстве, хранении, транспортировке и сервировке еды (разделочные доски, ножи, вилки, ложки, тарелки, сковородки, кастрюли, пищевые контейнеры и т.д.).

**Пищевые болезни (пищевое отравление):** недомогание, вызванное употреблением загрязненных продуктов питания или напитков.

**Синтез:** 1) метод исследования посредством определения взаимосвязей и объединения отдельных элементов в единую систему; 2) С. (химический): процесс образования сложных молекул из более простых.

**Системный подход:** 1) направление методологии специально-научного познания и социальной практики, в основе которого лежит исследование объектов как систем; 2) подход, при котором любая система (объект) рассматривается как совокупность взаимосвязанных элементов, характеризующаяся входом (ресурсами), связью с внешними факторами, наличием обратной связи и выходом (целью).

**Химическое потребление кислорода (ХПК):** показатель содержания органических веществ в воде, выражается в миллиграммах кислорода, пошедшего на окисление органических веществ, содержащихся в литре (1 дм<sup>3</sup>) воды.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авторское свидетельство СССР № 1121905, 1981. Способ получения жидкости с биологически активными свойствами / Вахидов В.В., Мамаджанов У.Д., Касымов А.Х., Бахир В.М. [и др.].
2. Агафонов, Е. Актуальные вопросы обеспечения пищевой безопасности / Е. Агафонов // Переработка молока. – 2017. – № 12 (218). – С. 56–59.
3. Азоев, Г. Л. Инновационные кластеры nanoиндустрии / Г. Л. Азоев [и др.]. – Москва: БИНОМ. Лаборатория знания, 2012. – 296 с.
4. Алтунина, Е. О. Современные способы управления порчей пищевых продуктов / Е. О. Алтунина, Л. А. Петрова // Современное состояние и развитие рынка потребительских товаров. – Орел: Орловский государственный институт экономики и торговли, 2010. – 131–135 с.
5. Амеличкин, С. Г. Технология объемной аэрозольной дезинфекции анолитом АНК при строительстве и эксплуатации сооружений больничного комплекса / С. Г. Амеличкин [и др.] // Медицинский алфавит. – 2012. – № 16. – С. 25–30.
6. Антипова, Л. В. Физическая модель образования коагуляционных контактов в фарше с добавкой электрохимически активированной плазмы крови / Л. В. Антипова, С. А. Титов, Н. М. Ильина, Н. Н. Попова, Д. С. Сайко // Известия ВУЗов. Пищевая технология. – 2001. – №1. – С. 10–12.
7. Асатурова, А. М. Изучение влияния бактеризации семян на рост и развитие растений озимой пшеницы [Электронный ресурс] / А. М. Асатурова, В. Д. Надыкта, В. Я. Исмаилов // Научный журнал КубГАУ электронный научный журнал. – 2013. – № 85. – Режим доступа : <http://ej.kubagro.ru/2013/01/pdf/66.pdf>.
8. Ауэрман, Л. Я. Технология хлебопекарного производства: учебник. 9–е изд. / перераб. и доп. под ред. Л. И. Пучковой. – Санкт–Петербург: Профессия, 2003. – 416 с.

9. Баландин, Г. В. Применение наночастиц серебра для обеспечения биологической безопасности в бродильных производствах: автореф. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.18.07 / Баландин Глеб Владленович ; [ФГБНУ Всероссийский научно–исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности]. – М., 2015. – 26 с.
10. Баландин, Г. В. Применение наночастиц серебра для обеспечения безопасности дрожжей рода *Saccharomyces* / Г.В. Баландин // Пиво и напитки. – 2015. – № 5 – С. 8-12.
11. Баландин, Г. В. Диффузионные особенности наночастиц серебра при оценке воздействия на микроорганизмы пищевых продуктов / Г. В. Баландин, Г. А. Ермаолаева, Л. Н. Шабурова // Сборник научных трудов SWorld. – 2013. – Выпуск 2. – Том 36. – С.80–82.
12. Баль-Прилепко, Л. В. Применение активированной воды, как основной составляющей рассолов для мясных изделий / Л. В. Баль-Прилепко, Б. И. Леонова, В. И. Науменко // Научный результат технологии бизнеса и сервиса – 2009. – №8. – С. 24–31.
13. Бараненко, Д. А. Подавление жизнедеятельности микрофлоры порчи мяса и мясопродуктов с помощью барьерной технологии / Д. А. Бараненко, Н. А. Забелина // Научные работы участников конкурса «Молодые ученые НИУ ИТМО» 2013 года. Университет ИТМО – 2014. – С. 264.
14. Бахир, В. М. Электрохимическая активация / В. М. Бахир. – Москва: ВНИИИ мед. техники, 1992. – 657 с.
15. Бахир, В. М. Медико-технические системы и технологии для синтеза электрохимически активированных растворов / В. М. Бахир. – Москва: ВНИИИИМТ, 1998. – 66 с.
16. Бахир, В. М. Электрохимическая активация. Изобретения, техника, технология / В. М. Бахир. – Москва: ВИВА-СТАР, 2014. – 511 с.
17. Бахир, В. М. Акватрон: новые электрохимические системы с элементами МБ // В. М. Бахир // Водоснабжение и канализация. – 2016. – № 5–6. – С. 28–45.

18. Бахир, В. М. Активированные вещества. Некоторые вопросы теории и практики / В. М. Бахир, А. Р. Атаджанов, У. Д. Мамаджанов [и др.] // Известия АН УзССР. Сер. техн.наук. – 1981. – № 5.
19. Бахир, В. М. Об эффективности и безопасности химических средств для дезинфекции, предстерилизационной очистки и стерилизации / В. М. Бахир, В.И. Вторенко, С. А. Паничева [и др.] // Дезинфекционное дело. – 2003. – № 1. – С. 29–36.
20. Бахир, В. М. Электрохимическая активация: универсальный инструмент зеленой химии / В. М. Бахир, Ю. Г. Задорожний, Б. И. Леонов, С. А. Паничева, В. И. Прилуцкий. – Москва: Маркетинг Саппорт Сервисиз, 2005. – 176 с.
21. Бахир, В. М. Электрохимическая активация: история, состояние, перспективы / В. М. Бахир, Ю. Г. Задорожний, Б. И. Леонов [и др.]. – Москва: ВНИИИМТ, 1999. – 256 с.
22. Бахир, В. М. Проблемы дезинфекции: химические средства и современная медицинская техника / В. М. Бахир, Б. И. Леонов, В. И. Прилуцкий [и др.]. // Здоровоохранение и медицинская техника. – 2003. – №3. – С. 25–27.
23. Бахир, В. М. Физическая природа явлений активации веществ / В. М. Бахир, Л. Е. Спектор, У. Д. Мамаджанов // Известия АН УзССР. Сер. техн. наук. – 1983. – № 1.
24. Белобородова, Н. В. Роль микробных сообществ или биопленок в кардиохирургии / Н. В. Белобородова, И. Т. Байрамов // Антибиотики и химиотерапия. – 2008. – Т. 53. – № 11–12. – С. 44–59.
25. Белова, С. К. Менеджмент безопасности пищевой продукции на предприятиях питания: ориентированный подход к санитарно–эпидемиологическому контролю и аудиту / С. К. Белова, А. Р. Апанасенко // Экономическая наука сегодня: теория и практика. – 2018. – С. 65–76.
26. Блинов, А. В. Использование наночастиц серебра в предпосевной обработке семян / А. В. Блинов, В. А. Кравцов, А. В. Серов, А. А. Блинова // Сборник научных трудов Ставропольского научно–исследовательского института животноводства и кормопроизводства. – 2014. – Т. 2. – № 7. – С.513.

27. Богатырева, Т. Г. Технологии пищевых продуктов с длительными сроками хранения / Т. Г. Богатырева, Н. В. Лабутина. – Санкт–Петербург: Профессия, 2013. – 184 с.
28. Бодрышев, В. В. Анализ структуры адсорбционных слоев полимеров на поверхности микрочастиц оксидов металлов с применением цифровой обработки изображений / В. В. Бодрышев, Б. А. Гарибян // Технология металлов. – 2018. – Т. 9. – С. 39–47.
29. Борисенко, А. А. Теоретические и практические аспекты полифункционального использования электроактивированных жидкостей в технологических процессах производства мясопродуктов: дисс. на соискание ученой степени докт. техн. наук: 05.18.12 / Борисенко А.А. – 2002. – 505 с.
30. Борисенко, Л. А. Научно–технические основы интенсивных технологий посола мясного сырья с применением струйного способа инъецирования многокомпонентных и активированных жидких систем. Дисс. на соискание ученой степени докт. техн. наук: 05.18.04 / Борисенко Л.А. – 1999. – 462 с.
31. Будаговский, А. В. Лазерные технологии в сельском хозяйстве / А. В. Будаговский, И. Б. Ковш. – Москва: Техносфера, 2008. – 272 с.
32. Буданцев, А. Ю. О книге Мирошникова А.И. Активация воды электрическим полем. Причины и механизмы активности католитов и анолитов / А. Ю. Буданцев // Вода: химия и экология. – 2014. – № 7. – С. 87–90.
33. Бушина, И. А. Совершенствование технологии коньяков на основе использования электрохимически активированной воды и дубового экстракта. Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Бушина И.А. – М., 2005. – 185 с.
34. Бычкова, Л. И. Микробиология рыбы и рыбных продуктов / Л. И. Бычкова, О. В. Горбунова // МГУТУ. – 2010. – С. 29.
35. Ваннер, Н. Э. Применение препарата нового поколения анолита АНК СУПЕР для дезинфекции инкубационного яйца [Электронный ресурс] / Н. Э. Ваннер // Научный журнал КубГАУ. – 2015. – №108(04). – Режим доступа: URL: // <http://ej.kubagro.ru/2015/04/pdf/33.pdf>.

36. Ваннер, Н. Э. Динамика концентрации оксидантов в воздухе и на поверхностях объектов при использовании аэрозолей Анолита АНК СУПЕР / Н. Э. Ваннер, А. А. Прокопенко, Ю. И. Боченин [и др.] // РЖ «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии». – 2016. – № 2(18). – С. 52–57.
37. Вихров, С. П. Нанотехнологии и биосистемы / С. П. Вихров. – Рязань: Сервис, 2010. – 236 с.
38. Власенко, Г. П. Атмосферная сублимационная сушка пищевых продуктов / Г. П. Власенко, А. Н. Григорьева, А. С. Алексеева // Використання холодоплетехніки в технологіях виробництва та зберігання харчових продуктів. – 2012. – № 29 (том 2). – С. 79–83.
39. Водная стратегия Российской Федерации на период до 2020 г., утв. Распоряжением Правительства РФ от 27 августа 2009 г. N 1235–р. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=128717>.
40. Водный саммит в Будапеште [Электронный ресурс] / Пан Ги Мун // Центр новостей ООН. – 2013. – Режим доступа: [http://www.un.org/russian/news/story.asp?NewsID=20401#.WCTRc\\_kgXtQ](http://www.un.org/russian/news/story.asp?NewsID=20401#.WCTRc_kgXtQ).
41. Водный форум БРИКС Материалы международ. научно–практич. конф. [Электронный ресурс] // Министерство образования и науки Российской Федерации. – 2016. – Режим доступа: <http://минобрнауки.рф/новости/8923>.
42. Галынкин, В. А. Микробиологические основы ХАССП при производстве пищевых продуктов / В. А. Галынкин, Н. А. Заикина, В. В. Карцев, С. А. Шевелева [и др.]. – Санкт-Петербург: Проспект Науки, 2007. – 288 с.
43. Гарибян, Б. А. Принцип минимума действия в задачах стационарного теплообмена / Б. А. Гарибян, Г. Г. Спирин // Научное обозрение. – 2013. – № 7. – С. 92–98.
44. Гладких, П. Г. Значение микробных биопленок в инфекционной патологии человека (обзор) / П. Г. Гладких // Вестник новых медицинских технологий. Электронный журнал. – 2015. – Т. 9. – № 1.



45. Гмошинский, И. В. Современное состояние проблемы оценки безопасности наноматериалов / И.В. Гмошинский, В. В. Смирнова, С. А. Хотиченко [[и др.]. ] // Российские нанотехнологии. – 2010. – Т. 5. – №. 9–10. – С. 6–10.
46. Голуб, А. В. Бактериальные биопленки – новая цель терапии? / А. В. Голуб // Клин. микробиол. антимикроб. химиотер. – 2012. – Т. 14. – № 1. – С. 23–29.
47. Горленко, М. В. Бактериальные болезни растений / М. В. Горленко. – Москва: Высшая школа, 1996. – 291 с.
48. ГОСТ 10444.15–94 Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно–анаэробных микроорганизмов. – Введ. 1996–01–01. – М.: Стандартиформ, 2010.
49. ГОСТ 7631–2008 Рыба, нерыбные объекты и продукция из них. Методы определения органолептических и физических показателей. Введ. – 2009–01–01. – М.: Стандартиформ, 2009.
50. ГОСТ 31747–2012 Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий). Введ. 2013–07–01. – М.: Стандартиформ, 2013.
51. ГОСТ 31986–2012 Услуги общественного питания. Метод органолептической оценки качества продукции общественного питания (Переиздание). Введ. 2015–01–01. – М.: Стандартиформ, 2012.
52. ГОСТ ISO 21871–2013 Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Метод обнаружения и подсчета наиболее вероятного числа *Bacillus cereus*. – Введ. 2014–07–01. – М.: Стандартиформ, 2014.
53. ГОСТ 31985–2013 Услуги общественного питания. Термины и определения. – Введ. 2015–01–01. – М.: Стандартиформ, 2014.
54. ГОСТ 9959–2015 Мясо и мясные продукты. Общие условия проведения органолептической оценки. – Введ. 2017–01–01. – М.: Стандартиформ, 2016.
55. Гугля, В. Г. Влияние скармливания нанокompозита серебра несушкам перепелов на их продуктивные и воспроизводительные качества / В. Г. Гугля, О. Г. Мерзлякова // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №3. – С. 36–39.
56. Дегтярева, Л. А. Разработка метода экспресс–диагностики перинатальных

инфекций на основе количественной оценки содержания ДНК бактерий, колонизирующих организм плода и новорожденного: автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. мед. наук / Дегтярева Л.А. – М., 2010. – 10 с.

57. Дезинфицирующее средство «Анолит АНК СУПЕР» [Электронный ресурс] // Делфин Аква: науч.–произв. компания. – Режим доступа: <http://www.delfin-aqua.com>.

58. Джей, Д. М. Современная пищевая микробиология / Д. М. Джей, М. Д. Лесснер, Д. А. Гольден. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2012. – 508 с.

59. Эванс, Д.А. Замороженные пищевые продукты. Производство и реализация / Д. А. Эванс. – Санкт–Петербург: Профессия, 2010. – 440 с.

60. Доценко, В. А. Практическое руководство по санитарному надзору за предприятиями пищевой и перерабатывающей промышленности, общественного питания и торговли: учеб. пособие / В. А. Доценко. – 4-е изд., стер. – Санкт–Петербург: ГИОРД, 2013. – 832 с.

61. Дыдыкин, А. С. Теоретические основы и практическое применение электрохимической активации воды / А. С. Дыдыкин // Мясная индустрия. – 2012. – № 1. – С. 44–48.

62. Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю), утверждены Решением Комиссии таможенного союза от 28 мая 2010 года № 299.

63. Елисеева, Л. Г. Товароведение однородных групп продовольственных товаров / Л. Г. Елисеева, Т. Г. Родина, А. В. Рыжакова [и др.] // Издательство «Дашков и К». – М., 2019. – 949 с.

64. Ермолаева, Г. А. Справочник работника лаборатории пивоваренного предприятия / Г. А. Ермолаева. – Санкт–Петербург: Профессия, 2004. – 536 с.

65. Ерошенко, Д. В. Влияние факторов внешней среды на первые этапы образования биопленок бактериями *Staphylococcus epidermidis*: автореф. дис. канд. биол. наук.: 03.02.03 / Ерошенко Д.В. – 2015. – 23 с.

66. Ефимочкина, Н. Р. Методы определения эмерджентных патогенных бактерий *Listeria monocytogenes* / Н. Р. Ефимочкина // Молочная промышленность. – 2007. –

№ 3. – С. 38–42.

67. Ефимочкина, Н. Р. Изучение особенностей микробной контаминации свежих овощей и листовых салатов промышленного изготовления / Н. Р. Ефимочкина, И. Б. Быкова, С. Ю. Батищева [и др.] // Вопросы питания. – 2014. – № 5. – С. 33–42.

68. Ефимочкина, Н. Р. Оценка эффективности воздействия антимикробных средств на уровень контаминации салатной и овощной продукции / Н. Р. Ефимочкина, И. Б. Быкова, Л. П. Минаева [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – №2. – С. 34–39.

69. Жуков, В. Г. Расчет оборудования для очистки сточных вод от грубодисперсных примесей / В.Г. Жуков, Л. Л. Никифоров // Пищевая технология. – 2011. – С.79–82.

70. Журавлева, Н. Г. Словарь нанотехнологических и связанных с нанотехнологиями терминов [Электронный ресурс] / Н. Г. Журавлева, О. А. Шляхтин. – 2015. – Режим доступа: <http://thesaurus.rusnano.com/wiki/article1399>.

71. Заиченко, И. В. Применение препарата колларгола при гельминтозах собак / И. В. Заиченко // Ветеринарная медицина XXI века: инновации, опыт, проблемы и пути их решения: Тез. докл. Междун. научно–практической конф. 8-9 июня 2011.– У., 2011. – С. 219–222.

72. Зайцева, Н. В. Токсикологическая оценка наноразмерного коллоидного серебра в экспериментах на мышах. Поведенческие реакции, морфология внутренних органов / Н. В. Зайцева // Анализ риска здоровью. – 2016. – С. 68.

73. Зайцева, Ю. В. Молекулярно–генетические особенности QuorumSensing систем грамотрицательных бактерий (на модели *Serratia*) и изучение их роли в регуляции клеточных процессов [Текст]: автореф. дис. канд. биол. наук.: 03.02.07/ Зайцева Ю.В. – М., 2012. – 24 с.

74. Зимон, А. Д. Коллоидная химия (в том числе и наночастиц) / А. Д. Зимон, И. А. Тугорский // Учебник для вузов. – Москва: Агар, 2007. – 344 с.

75. Зимон, А. Д. Коллоидная химия наночастиц / А. Д. Зимон, А. Н. Павлов. – Москва: Научный мир, 2012. – 224 с.

76. Злобина, И. В. Применение СВЧ-обработки в приготовлении мясных кулинарных изделий с использованием белков растительного происхождения / И. В. Злобина, С. А. Дунаев // Вопросы электротехнологии. – 2014. – №2(3). – С. 37.
77. Зорин, А. В. Применение физических и электрохимических воздействий при разработке интенсивных способов модификации пищевого сырья и производстве мясопродуктов. Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук / Зорин А.В. – С., 2009. – 210 с.
78. Ибрагимов, Р. И. Биохимические факторы развития устойчивости растений к патогенам / Р. И. Ибрагимов, Л. Г. Яруллина, И. А. Шпирная [и др.] // Современные наукоемкие технологии. – 2010. – № 4. – С.46.
79. Ильяшенко, Н. Г. Микробиология спиртового, ликероводочного и дрожжевого производств / Н. Г. Ильяшенко, А. Н. Кречетникова, Л. Н. Шабурова. – Москва: Издательский комплекс МГУПП, 2006. – 68 с.
80. Инструкция по применению дезинфицирующего средства «Анолит АНК СУПЕР» № ДА 005–13, ООО «Дельфин Аква». – 2013.
81. Исаева, В. С. Микробиологические проблемы пивоваренного производства [Электронный ресурс] / В. С. Исаева // Пиво и жизнь. – 2015. – Режим доступа: <http://www.propivo.ru/prof/technology/22/problemu.htm>.
82. Калица, С. П. Аваделькарим. Нанонаука и нанотехнологии. Энциклопедия систем жизнеобеспечения: Пер. с англ. / С. П. Калица, Бай Чуньли, О. Осама. – Москва: Магистр-Пресс, 2009. – 992 с.
83. Катусов, Д. Н. Перспективы использования электростатического поля при производстве продуктов питания / Д. Н. Катусов, Э. А. Алимова // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: Сборник статей и докладов пятнадцатой международной научно–практической конференции. Алт. гос. техн. ун-т им. И.И. Ползунова. – 2013. – С. 64–69.
84. Кирпичников, П. А. О природе электрохимической активации сред / П. А. Кирпичников, В. М. Бахир [и др.] // Доклады АН СССР. – 1986. – Т. 286. – № 3. – С. 663–666.

85. Кириш, И. А. Антимикробные упаковочные материалы для мясной отрасли / И. А. Кириш, Ю. В. Фролова // Мясные технологии. – 2016. – № 6. – С. 20–21.
86. Кобаяси, Н. Введение в нанотехнологию / Н. Кобаяси; под ред. Л. Н. Патрескеева. – Москва: Биномб, 2007. – 136 с.
87. Ковшов, А. Н. Основы нанотехнологии в технике / А. Н. Ковшов. – Москва: Академия, 2009. – 236 с.
88. Кодекс Алиментариус. Облученные продукты питания. Совместная программа ФАО/ВОЗ по стандартам на пищевые продукты. Москва: Весь Мир, 2007. – 21 с.
89. Козлов, И. В. Разработка способа применения электрохимически активированной воды в технологии напитков. Дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук по специальности: 05.18.07 / Козлов И. В. – М., МГУПП., – 2009. – 152 с.
90. Колесников А. 202X. Тренды. Прогноз на новое десятилетие. Люди, мегаполисы, бизнес–модели/А.Колесников. – 2019. – 34 с.
91. Колесниченко, П. Д. Влияние жидкостей с различным окислительно–восстановительным потенциалом на органы желудочно–кишечного тракта. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. мед. наук по специальности 14.03.06 / Колесниченко П. Д. – К., 2012 – 20 с.
92. Колончин, К. В. Научное и образовательное обеспечение продовольственной безопасности Российской Федерации / К. В. Колончин, Д. А. Еделев, А. Ю. Колеснов // Пищевая промышленность. – 2010. – №8. – С. 8–11.
93. Колотило, А. Н. Микробиоценоз воды, используемой для водоснабжения животноводческих предприятий Омского Прииртышья и его коррекция: автореферат дисс.. канд. ветеринарных наук: 06.02.02 / Колотило Анастасия Николаевна. – О., 2013. – 17 с.
94. Королева, М. К. Модифицированная газовая атмосфера для колбасной продукции. Основные термины. Преимущества использования / М. К. Королева // Наука и современность. – 2010. – №. 6–2. – С. 36.
95. Котов, А. В. Повышение энергетической эффективности ультрафиолетового

обеззараживания жидких сред в сельскохозяйственном производстве на основе применения энергосберегающей технологической схемы облучени: Дисс. на соискание степени к.т.н. / Котов А.В. – СПб., 2004. – С.146.

96. Красникова, Л. В. Микробиологическая безопасность пищевого сырья и готовой продукции: Учеб. метод. пособие / Л. В. Красникова, П. И. Гунькова – Санкт–Петербург: НИУ ИТМО; ИХиБТ, 2014. – 91 с.

97. Красуля, О. Н. Моделирование рецептур пищевых продуктов и технологий их производства: теория и практика / О. Н. Красуля, С. В. Николаева, А. В. Токарев, А. Е. Краснов, И. Г. Панин. – Санкт–Петербург: ГИОРД, 2015. – 320 с.

98. Краузова, Е. Институт семеноводства приспособливает овощи к технологическим процессам [Электронный ресурс] / Е. Краузова – 2015. – Режим доступа: <http://минобрнауки.рф/новости/5469>.

99. Криштафович, В. И. Товароведение и экспертиза мясных и мясосодержащих продуктов / В. И. Криштафович, В. М. Позняковский, О.А. Гончаренко, Д. В. Криштафович // Издательство "Лань". - Санкт-Петербург, 2017. - 432 с.

100. Кругликов, Б. В. Применение ЭХА-растворов для экстракции горьких веществ хмеля / Б. В.Кругликов, М. В. Гернет // Пиво и напитки. – 2011. – №2. – С. 36–38.

101. Крутяков, Ю. А. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы / Ю. А. Крутяков, А. А. Кудринский, А. Ю. Оленин, Г. В. Лисичкин // Успехи химии. – 2008. – Т. 77. – №. 3. – С.242–269.

102. Кузнецов, А. Л. Электростатическая обработка жидких сред подавления роста микроорганизмов / А. Л. Кузнецов, Л. О. Никифорова // Сборник материалов VI науч.-практ. конф. «Товароведение, общественное питание и технологии хранения продовольственных товаров» – Москва, 2014. – С. 109–112.

103. Кузнецов, А. Л. Исследование возможности применения электростатической обработки для интенсификации процессов конвективной сушки [Электронный ресурс] / А. Л. Кузнецов, О. А. Суворов // Инженерный вестник Дона. – 2015. – №2. – Режим доступа: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2896](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2015/2896).

104. Кузнецов, А. Л. Электронная микроскопия биопленок, сформированных в условиях лабораторного стенда / Актуальные вопросы биологической физики и химии. БФФХ–2017: материалы XII международной научно-технической конференции, г. Севастополь, 2–6 октября 2017 г. / А. Л. Кузнецов [и др.] – Севастополь: Севастопольский государственный университет, 2017. – 536 с.
105. Кузнецова, Л. С. Традиции и инновации в упаковке пищевых продуктов / Л. С. Кузнецова, М. Н. Михеева, Е. В. Казакова [и др.]. // Пищевая промышленность. – 2008. – № 6. – С. 12–14.
106. Куклева, Л. М. Межклеточная коммуникация QuorumSensing у патогенных бактерий рода *Yersinia* / Л. М. Куклева, Г. А. Ерошенко // Проблемы особо опасных инфекций. – 2009. – № 102. – С. 54–59.
107. Кульский, Л. А. Серебряная вода / Л. А. Кульский. – К.: Наукова думка. – 1987. – 250 с.
108. Кушевская, Р. А. Технохимический контроль и управление качеством: лабораторный практикум / Р. А. Кушевская, Г. В. Гуринович, Т. П. Перкель. – Кемерово: КЕМТИПП, 2004. – 63 с.
109. Лабутина, Н. В. Технология производства хлебобулочных изделий из замороженных полуфабрикатов: Монография / Н. В. Лабутина – Смоленск: Издательство «Универсум», 2004. – 236 с.
110. Лебедева, А. Технология обработки продуктов под высоким давлением [Электронный ресурс] / Лебедева А. // RUSSIAN FOOD&DRINKS. – 2012. Режим доступа: <http://www.foodmarket.spb.ru>.
111. Легонькова, О. А. Выбор полимерных упаковочных материалов для сохранения мясной продукции / О. А. Легонькова // FleischwirtschaftInternational Россия. – 2010. – №2. – С. 72–78.
112. Леонов, Б. И. Физико-химические аспекты биологического действия электрохимически активированной воды / Б. И. Леонов, В. И. Прилуцкий, В. М. Бахир – Москва: ВНИИИМТ, 1999. – 244 с.

113. Леонтьев, В. Н. Порча пищевых продуктов: виды, причины и способы предотвращения / В. Н. Леонтьев, Х. М. Элькаиб, А. Э. Эльхедми // Труды БГУ. – 2013. – Т. 8. – № 1. – С. 125.
114. Локацкая, Л. Наночастицы серебра: убивают и спасают [Электронный ресурс] / Л. Локацкая // HI+MED. Высокие технологии в медицине. – 2011. – Режим доступа: [http://himedtech.ru/articles/?SECTION\\_ID=93&ELEMENT\\_ID=308](http://himedtech.ru/articles/?SECTION_ID=93&ELEMENT_ID=308).
115. Стрингер, М. Охлажденные и замороженные продукты / М. Стрингер, К. Деннис. – Санкт-Петербург: Профессия, 2004. – 496 с.
116. Маневич, Б. В. Совмещенная мойка и дезинфекция оборудования / Б. В. Маневич, Ж. И. Кузина // Переработка молока. – 2010. – № 11. – С. 38–40.
117. Мартинес, А. Победа над биопленкой – ключевой фактор гигиены воды / А. Мартинес [и др.]. // Свиноводство. – 2011. – № 6. – С. 51–52.
118. Масленка, А. А. Влияние «серебряной» воды и воды, консервированной серебром на органы пищеварения / А. А. Масленка // Врачебное дело. – 1976. – Т. 5. – С. 88–90.
119. Маянский, А. Н. Стратегия управления бактериальным биопленочным процессом / А. Н. Маянский // Журнал инфектологии. – 2012. – Т. 4. – № 3 – С. 5–15.
120. Медведев, П. В. Факторы обсемененности зерна спорами *Bacillus subtilis* и *Bacillus mesentericus* / П. В. Медведев, В. А. Федотов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – Т. 131. – № 12. – С. 341.
121. Мелехин, Д. В. Разработка технологии охлажденной рыбы с использованием электрохимически активированных растворов хлористого натрия (ЭХА–воды): Дис. ... канд. техн. наук / Мелехин Д. В. Калининградский государственный технический университет Атлантический научно–исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии. – К., 2000. – 35 с.
122. Мельникова, Т. В. Исследование стабильности модельных растворов хлорорганических пестицидов под влиянием гамма–излучения / Т. В. Мельникова, Л. П. Полякова, Г. В. Козьмин // Радиационная биология и радиоэкология. – 2001. – Т. 41(6). – С. 683–687.
123. Мельникова, Т. В. Экологические проблемы радиационно–биологической



технологии подготовки пищевых продуктов и сельскохозяйственного сырья / Т. В. Мельникова, Л. П. Полякова, Г. В. Козьмин // Известия Калужского общества изучения природы. Книга седьмая. (Сборник научных трудов). – Калуга: КГПУ им. К.Э. Циолковского, 2006. – С. 60–66.

124. Меркулова, Н. Г. Производственный контроль в молочной промышленности. Практическое руководство / Н. Г. Меркулова, М. Ю. Меркулов, И. Ю. Меркулов – Санкт–Петербург: ИД «Профессия», 2010. – 656 с.

125. Методические рекомендации МР 1.2.2522–09. Выявление наноматериалов, представляющих потенциальную опасность для здоровья человека. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 35 с.

126. Методические рекомендации МР 1.2.2640–10. Методы отбора проб, выявления и определения содержания наночастиц и наноматериалов в составе сельскохозяйственной, пищевой продукции и упаковочных материалов. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 49 с.

127. Методические указания МУК 4.2.1122–02 Организация контроля и методы выявления бактерий *Listeria monocytogenes* в пищевых продуктах, 2002. – 21 с.

128. Методические указания МУК 4.2.1847–04 Санитарно–эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов. – М.: Минздрав России, 2004. – 16 с.

129. Методические указания МУ 1.2.2520–09. Токсиколого–гигиеническая оценка безопасности наноматериалов. Методические указания – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 43 с.

130. Методические указания МУ 1.2.2636–10 по проведению санитарно–эпидемиологической экспертизы продукции, полученной с использованием нанотехнологий и наноматериалов. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 30 с.

131. Методические указания МУ 1.2.2637–10. Порядок и методы проведения контроля миграции наночастиц из упаковочных материалов. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 35 с.

132. Методические указания МУ 1.2.2638–10. Оценка безопасности контактирующих с пищевыми продуктами упаковочных материалов, полученных с использованием нанотехнологий. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. – 38 с.
133. Методические указания МУ 1.2.2966–11. Порядок и организация контроля за наноматериалами. – М.: Федеральный Центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2011 – 25 с.
134. Мирошников, А. И. Исследование причин биологической активности при анодных растворах хлористого натрия после их обработки в диафрагменном электролизе / А. И. Мирошников // Биофизика. – 1997. – Т. 42. – Вып.4. – С. 979–984.
135. Мирошников, А. И. Исследование причин биологического действия электрохимически активированных растворов по изменению роста клеток *Escherihia coli* / А. И. Мирошников // Биофизика. – 2004. – Т. 49. – Вып. 5. – С. 866–871.
136. Мирошников, А. И. Биологическая активность католитов и анолитов и использование электрохимически активированных растворов в медицине и биотехнологии / А. И. Мирошников // Вестник новых медицинских технологий. – 2009. – Т. XVI. – № 1. – С. 228–229.
137. Мирошников, А. И. Причина активности растворов после электрохимической обработки. Роль хлоридов и окислительно–восстановительного потенциала / А. И. Мирошников // Вода: химия и экология. – 2012. – № 12. – С. 104–110.
138. Мирошников, А. И. Активация воды электрическим полем. Причины и механизмы активности католитов и анолитов / А. И. Мирошников // Saarbruken, LAPLAMBERTAkademicPublishing. – 2013. – 116 с.
139. Мосин, О. В. Медицина: о физиологическом воздействии наносеребра на организм человека [Электронный ресурс] / О. В. Мосин // Nanonewsnet – 2008. – Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru>.
140. Мусина, О. Н. Научные и прикладные аспекты целевого комбинирования сырья в производстве поликомпонентных молочных продуктов: диссертация ... доктора технических наук/Мусина О.Н. – Барнаул, 2018. – 470 с.

141. Муссе, С. Р. Активация биоценоза аэротенков в электростатическом поле [Электронный ресурс] / С. Р. Муссе // Инженерный вестник Дона. – 2015. – №3. – Режим доступа: [http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD\\_187\\_mousse.pdf](http://ivdon.ru/uploads/article/pdf/IVD_187_mousse.pdf).
142. Мухина, Л. Б. Заражение возбудителем листериоза рыбы, рыбной продукции и рыбоперерабатывающих производств / Л. Б. Мухина, Е. Ю. Дмитриева // Рыбное хозяйство. – 2005.– №2.– С.95.
143. Набок, М. Выпечка пшеничного хлеба с использованием электроактивированных водных растворов в тестозамешивании / М. Набок, Г. Плутахин // Хлібопекарська і Кондитерська промисловість України. – 2009. – №9. – С. 38–41.
144. Назаренко, Л. В. Факторы внешней среды, их влияние на рост и развитие сельскохозяйственных культур длинного дня на примере пшеницы/ Л. В. Назаренко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – №. 93. – С.1.
145. Наночастицы в пище [Электронный ресурс] // Nanonewsnet. – 2008. – Режим доступа: <http://www.nanonewsnet.ru>.
146. Насонова, В. В. Антимикробная активность коллагеновых пленок с CO<sub>2</sub>-экстрактами пряностей / В. В. Насонова, П. М. Голованова, Д. С. Батаева [и др.] // Пищевая промышленность. – 2013. – № 6. – С. 8–9.
147. Науменко, Н. В. Влияние активированной воды на формирование качества и сохраняемость хлеба из пшеничной муки. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук. Специальность ВАК РФ: 05.18.15 / Науменко Н.В. – М., 2007 – 18 с.
148. Немец, Е. А. Образование биопленок штаммами госпитальной флоры, выделенными из биологических субстратов пациентов, на поверхности материалов и изделий медицинского назначения/Е.А. Немец // Вестник транспл. и иск. органов. – 2013. – №4. – С.92–97.
149. Нестерова, Н. В. Использование электротехнологии озонирования на предприятиях АПК / Н. В. Нестерова // В сборнике: Актуальные проблемы энергетики АПК. Материалы IX международной научно–практической конференции. Под общ. ред. Трушкина В.А. – 2018. – С. 159–160.

150. Никифорова, Л. О. Исследование воздействия электростатического поля на водные растворы, содержащие сульфаты и хлориды тяжелых металлов / Л. О. Никифорова, А. Л. Кузнецов, А. Ю. Никифоров [и др.] // Химическая технология. – 2014. – №11.
151. Николаев, Ю. А. Ауторегуляция стрессового ответа микроорганизмов: диссертация ... доктора биологических наук : 03.02.03 / Николаев Юрий Александрович [Место защиты: Ин-т микробиологии им. С.Н. Виноградского РАН]. – М., 2011. – 352 с.
152. Новиков, П. Г. Санитарно-гигиеническая оценка молока и молочных продуктов / П. Г.Новиков [и др.]. – Минск: БГМУ, 2016. – 308 с.
153. Общий стандарт на пищевые продукты, обработанные проникающим излучением. CODEX STAN 106–1983, REV, 1 – 2003. – 5 с.
154. Омельченко, А. В. Влияние обработки семян нанобиосеребром на фитопатогены и ростовые процессы проростков озимой пшеницы / А. В. Омельченко, И. Н. Юркова, М. Н. Жижина // Вестник воронежского государственного университета. – 2015. – № 3. – С. 71.
155. Осадченко, И. М. Разработка способа получения мясного фарша с использованием электроактивированных растворов / И. М. Осадченко, А. С. Филатов, Н. Г. Чамурлиев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2017. – №. 1 (45). – С. 209–218.
156. Осадченко, И. М. Технология получения электроактивированной воды, водных растворов и их применение в АПК [Текст]: монография / И. М. Осадченко, И. Ф. Горлов. – Волгоград: Волгоградское научное издательство. – 2010. – № 92. – С.25
157. Павлова, О. В. Характеристика штамма *Aspergillusniger* используемого для получения лимонной кислоты / О. В. Павлова, Т. П. Троцкая // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: материалы III международной научно-практической конференции. Краснодар : Издательский дом Юг. – 2013. – С. 215–217.

158. Пасичник, Л. А. Базальный бактериоз пшеницы и влияние агротехнических приемов на его распространение / Л. А. Пасичник, В. П. Патыка // Мікробіологічний журнал. – 2012. – Т. 74. – № 4. – С. 37–44.
159. Патент № 2038322 Российская Федерация. Устройство для электрохимической обработки воды. / Бахир В.М., Задорожний Ю.Г., Леонов Б.И., Веденков В.Г. Оpubл. 1992.
160. Патент № 2076847 Российская Федерация. Устройство для получения моющих и дезинфицирующих растворов. / Бахир В.М., Задорожний Ю.Г., Барабаш Т.Б. Оpubл. 1995.
161. Патент № 2009/0238947 A1 США, Int. Cl. A23L 1/304, A23L 1/305, A23J 7/00, A23J 1/20, A23J 1/14 Calcium fortified food product and additive / L. M. Flendrig, C.E. Marshman, K.P. Velikov et al. – № 12/085,616. Оpubл. 24.09.2009.
162. Патент № 2130472 Российская Федерация. Способ производства красителя из шелухи лука / Квасенков О.И., Ломачинский В.А., Гореньков Э.С. Оpubл. 20.05.1999.
163. Патент № 2203936 Российская Федерация. Способ подготовки воды для пивоваренного производства. Оpubл. 10.05.2003 г.
164. Патент № 2247143 Российская Федерация. Способ производства солода. Оpubл. 27.02.2005.
165. Патент № 2372399 Российская Федерация. Способ извлечения виннокислых соединений из виноградных выжимок. Оpubл. 10.11.2009.
166. Патент № 2469537 Российская Федерация. Электрохимическое устройство для биоцидных обработок в сельском хозяйстве/Паоло Росси (IT) [и др.]. Оpubл. 20.12.2012. Бюл. №35. – С. 12.
167. Патент № 2539792 Российская Федерация. Контроль бактериального заражения в процессах спиртовой ферментации/М.С.Франзин, М.Р.Приоли ; заявитель и патентообладатель АРЧ КЕМИКАЛЗ, ИНК. (US) – 2011137432/10 ; заявл. 11.02.10 ; опубл. 27.01.15 – 12 с.
168. Патент № 2559546 Российская Федерация. Способ моделирования образования биопленок холерных вибрионов в условиях эксперимента и устройство для

его осуществления. Титова С.В., Кушнарера Е.В. Патентообладатель(и): Федеральное казенное учреждение здравоохранения "Ростовский-на-Дону ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский противочумный институт" Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (RU). Опубл. 10.08.2015.

169. Патент № 6326185 В1 США, Int. Cl. C12N 1/16, C12N 1/18 Method for decontaminating yeast/M.C.Barney, K.M.Carrick, A.Navarro et al. ; заявитель и патентообладатель Miller Brewing Company (US) – № 09/553,775 ; заявл. 21.04.00 ; опубл. 04.12.01 – 12 с.

170. Персиянова, Е. В. Характеристика взаимоотношений *Yersinia pseudotuberculosis* растительными клетками: Автореф. дис. ... к.б.н. / Е. В. Персиянова. – В., 2008. – 22 с.

171. Першакова, Т. В. Современные методы предотвращения микробиологической порчи и увеличения сроков хранения продукции растениеводства / Т. В. Першакова, Г. А. Купин, В. Н. Алешин, С. М. Горлов, Е. Ю. Панасенко // International Journal of Humanities and Natural Sciences. – 2018. – №9. – С.115–121.

172. Петрушанко, И. Ю. Физико-химические свойства и биологическое действие водных растворов, полученных в мембранном электролизере Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. физ-мат. наук по специальности 03.00.02/ Петрушанко И.Ю. – М., 2002. – 18 с.

173. Плешакова, В. И. Факторы патогенности микроорганизмов, выделенных из питьевой воды и биопленки технологических элементов систем водоснабжения сельскохозяйственных предприятий / В. И. Плешакова, А. Н. Колотило, Н. А. Лещева // Научное обозрение. Реферативный журнал. – 2014. – № 1. – С. 32–32.

174. Плутахин, Г. А. Практическое применение электрохимически активированных водных растворов / Г. А. Плутахин, М. Аидер, А. Г.Коцаев [и др.]. // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – №92(08). – С. 36.

175. 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.]. // ИТЭБ РАН. – Москва: Франтера, 2018. – 270 с.

176. Погорелов, А. Г. Особенности применения метода ToF–SIMS для анализа биоорганических образцов / А. Г. Погорелов, А. А. Гулин, В. Н. Погорелова [и др.] // Биофизика. – 2018. – №63(2). – С. 303–310.

177. Погорелов, А. Г. Дезинтеграция бактериальной пленки посредством электрохимически восстановленного водного раствора / А. Г. Погорелов, А. Л. Кузнецов, А. И. Панайт, М. А. Погорелова, О. А. Суворов, Г. Р. Иваницкий // Доклады Академии Наук. – 2018. – №. 3. – С. 395–397.

178. Погорелова, М. А. Актуальные проблемы микробиологического заражения и дезинфекции трубопроводов на предприятиях молочной промышленности / М. А. Погорелова [и др.] // Переработка молока. – 2019. – №. 5. – С. 62–65.

179. 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.

180. Подволоцкая, А. Б. Современные аспекты санитарной обработки и дезинфекции производственной среды мясоперерабатывающих предприятий / А. Б. Подволоцкая, Е. С. Фищенко, О. М. Сон [и др.] // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2016. – №. 12. – С. 28–30.

181. Подкопаев, Д. О. Особенности применения наночастиц в пищевой промышленности / Д. О. Подкопаев, Н. В. Лабутина, О. А. Суворов [и др.] // Известия вузов. Пищевая технология. – 2013. – № 5–6. – С. 5–8.

182. Подкопаев, Д. О. Сравнительная оценка антимикробной активности наночастиц серебра / Д. О. Подкопаев, Л. Н. Шабурова, Г. В. Баландин, О. В. Крайнева, Н. В. Лабутина, О. А. Суворов, Ю. И. Сидоренко // Российские нанотехнологии. – 2013. – № 11–12. – Т. 8. – С. 123–126.

183. Подлесный, А. И. Применение дезинфицирующих препаратов на основе хлорных перекисных соединений для обработки овощного сырья и пряной зелени / А. И. Подлесный, О. И. Квасенков // Пищевая промышленность – 2005. – № 9. – С. 42–44.

184. Подопригора, И. В. Польза и вред знакомых продуктов / И. В. Подопригора – Москва: АСТ, 2013 г. – 223 с.
185. Позняковский, В. М. Пищевые ингредиенты и биологически активные добавки / В.М. Позняковский, О.В. Чугунова, М.Ю. Тамова // Издательский Дом "Инфра-М". - М., 2017. - 143 с.
186. Попов, К. И. Пищевые нанотехнологии: перспективы и проблемы / К. И. Попов, И. В. Гмошинский, А. Н. Филиппов, А. В. Жердев, С. А. Хотимченко, В. А. Тутельян. – Москва: Издательский комплекс МГУПП, 2010. – 164 с.
187. Попова, А. Ю. Анализ риска – стратегическое направление обеспечения безопасности пищевых продуктов / А. Ю. Попова // Анализ риска здоровью. – 2018. – №. 4. – С. 67–78.
188. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 02.06.2008 г. № 33 «О производстве и обороте мяса птицы».
189. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 04.12.2008 № 66 «Об использовании для обработки тушек птицы растворов, содержащих хлор».
190. Постановление Правительства РФ от 23 апреля 2010 № 282 «О национальной нанотехнологической сети» // Российская газета. – 2011. – 25 мая. – С. 1.
191. Потороко, И. Ю. Научные подходы в обеспечении качества и безопасности плодов и овощей в процессе хранения. Мировой опыт. Часть 1 / И. Ю. Потороко, И. В. Калинина, А. А. Руськина // Вестник ЮУрГУ. Серия «Пищевые и биотехнологии». – 2017. – Т. 5. – № 1. – С. 14–18.
192. Прахова, М. С. Биосинтез лимонной и глюконовой кислот микромицетом *Aspergillus niger* / М. С. Прахова, Т. В. Выборнова, Н. Ю. Шарова // Научное обеспечение инновационных технологий производства и хранения сельскохозяйственной и пищевой продукции: сборник материалов II Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых и аспирантов. Краснодар : ГНУ ВНИИТТИ. – 2014. – С. 94–99.



193. Прилуцкий, В. И. Анолиты на рынке дезсредств: не ошибитесь в выборе! / В. И. Прилуцкий, В. И. Долгополов, Т. Б. Барабаш // Медицинский алфавит. Эпидемиология и гигиена. – 2013. – № 3. – С. 52–61.
194. Прилуцкий, В. И. Электрохимически активированная вода: аномальные свойства, механизм биологического действия / В. И. Прилуцкий, В. М. Бахир. – Москва: ВНИИИМТ, 1997. – 228 с.
195. Прилуцкий, В. И. Дезинфицирующие средства: эффективность, безопасность, экология / В. И. Прилуцкий, В. М. Бахир, Н. Ю. Шомовская // Экология и промышленность России. – 2003. – С. 31–34.
196. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года / Минобрнауки Российской Федерации, 2013. – 72 с.
197. Прокопенко, А. А. Аэрозольная дезинфекция инкубационных яиц анолитом АНК Супер при эшерихиозе и аспергиллезе птиц / А. А. Прокопенко, Н. Э. Ваннер, А. А. Закомырдин, Ю. И. Боченин // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. – 2015. – № 2(14) – С. 43–48.
198. Просеков, А. Ю. Общая биология и микробиология / А.Ю. Просеков, Л.С. Солдатова, И.С. Разумникова, О.В. Козлова. - СПб: Проспект Науки, 2018. - 320 с.
199. Радзевич, А. Э. Краткий толковый словарь медицинских терминов / А.Э. Радзевич, Ю. А. Куликов, Е. В. Гостева. – М.: МЕДпресс–информ, 2004. – 368 с.
200. Рамбиди, Н. Г. Физические и химические основы нанотехнологий / Н.Г. Рамбиди, А. В. Березкин. – Москва: Физматлит, 2008. – 456 с.
201. Рогов, И. А. Химия пищи / И. А. Рогов, Л. В. Антипова, Н. И. Дунченко – Москва: КолосС, 2007. – 853 с.
202. Рогов, И. А. Консервирование пищевых продуктов холодом (теплофизические основы) / И. А. Рогов, В. И. Филипов, Е. В. Куцакова – Москва: Колос, 1998. – 158 с.
203. РОСКАЧЕСТВО. Приплыли: слабосоленая семга оказалась с листериями [Электронный ресурс] / РОСКАЧЕСТВО. – 2020. – Режим доступа: <https://rskrf.ru/news/priplyli-slabosolenaya-semga-okazalas-s-listeriyami>.

204. РОСНАНО. Годовой отчет за 2012 год [Электронный ресурс] / ОАО «РОСНАНО». – 2012. – Режим доступа: <http://www.rusnano.com/about/highlights/annual-report>.
205. Руденко, Е.Ю. Утилизация отходов пивоварения: монография/Е.Ю. Руденко. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2012. – 114 с.
206. Руденок, В.А. Устройство для электрохимической активации воды/ В.А.Руденок, А.А.Соловьев // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3 (32). – С. 45–47.
207. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.4.1074–01 Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения (утв. 26 сентября 2001 г.), с изм. на 2 апреля 2018 г.
208. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1324–03. Гигиенические требования к срокам годности и условиям хранения пищевых продуктов (утв. 22 мая 2003 г.).
209. Санитарно-эпидемиологические правила СП 2.3.6.1079–01 Санитарно-эпидемиологические требования к организациям общественного питания, изготовлению и оборотоспособности в них пищевых продуктов и продовольственного сырья (утв. 6 ноября 2001 г.), с изм. и доп. от 10 июня 2016 г.
210. Свиридов, Д. А. Разработка технологии белкового препарата с повышенной биологической активностью с использованием пивной дробины: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.07, 05.18.10 / Д. А. Свиридов. – М., 2006. – 168 с.
211. Селезнева, Е. С. Антибактериальные и ранозаживляющие свойства электролитического серебра в различных растворах/Е.С.Селезнева // Актуальные вопросы в медицине: Тез. докл. Всероссийской 64–ой итоговой студенческой конференции им. Н.И. Пирогова 27–29 апреля 2005.– Томск, 2005. – С. 200–201.
212. Семенов, Г.В. Вакуумная сублимационная сушка / Г. В. Семенов – Москва: ДеЛи плюс, 2013. – 264 с.

213. Семенова, А. А. Перспективные направления развития упаковки в мясной промышленности / А. А. Семенова, Ф. В. Холодов [и др.] // Пищевая промышленность. – 2012. – № 6. – С. 26–27.
214. Сидоренко, С. А. Влияние упаковочных материалов на качество пищевой продукции / С. А. Сидоренко, И. А. Дудла // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2004. – № 1.
215. Сироткин, И. В. Совершенствование санитарно–микробиологического контроля качества профилактической дезинфекции в цехах по переработке мяса: диссертация ... кандидата ветеринарных наук / И. В. Сироткин. – М., 2015. – 144 с.
216. Славская, И. Л. Технология отрасли. Ч.1. Технология спирта и хлебопекарных дрожжей / И. Л. Славская, С. Ю. Макаров. – Москва: МГУТУ, 2012. – 75 с.
217. Смирнова, Т. А. Микробиология зерна и продуктов его переработки / Т. А. Смирнова, Е. И. Кострова. – М.: Агропромиздат, 1989. – 159 с.
218. Снежко, А. Г. Асептические пленочные материалы для упаковки / А. Г. Снежко [и др.] // Мясная индустрия. – 1999. – № 6. – С. 36–38.
219. Соколова, Т. Н. Микробные биопленки и способы их обнаружения / Т. Н. Соколова // Журнал Гродненского государственного медицинского университета. – 2014. – № 4. – С. 12–15.
220. Стерхова, Т. Н. Электрический способ обеззараживания семян сельскохозяйственных культур / Т. Н. Стерхова, А. В. Савушкин, А. А. Сиротин, П. Д. Корнаухов // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 1.
221. Стрикаленко, Т. В. Обеззараживание в системе реализации плана ВОЗ по обеспечению безопасности воды / Т. В. Стрикаленко [и др.] // Водоснабжение и водоотведение. – 2014. – № 5. – С. 27–34.
222. Сублиматы – сырье для кондитерского производства [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://tdmazurin.ru/syrjo-dlya-konditer/>.
223. Сумелиди, Ю. О. Перспективы нанотехнологий при создании инновационных упаковочных материалов для продовольственных товаров. Товаровед продовольственных товаров / Ю. О. Сумелиди, Д. О. Подкопаев. – 2016. – №11. – С.7–8.

224. Суворов, О. А. Наносистемы в индустрии питания. Комплексное исследование использования нанотехнологических средств при обеспечении микробиологической безопасности пищевых производств и продуктов питания различных сроков хранения [Монография] / О. А. Суворов, Г. В. Баландин. – Москва: ФГБОУ ВПО «МГУПП», 2015. – 208 с.
225. Суворов, О. А. Микробиологическая стабилизация зернового сырья с применением наночастиц серебра / О. А. Суворов, Г. В. Баландин // Вопросы питания. – 2017. – № 3. – С. 108–114.
226. Сычева, Л. П. Изучение шестимесячного воздействия на крыс неконтактно электрохимически активированных вод с использованием полиорганного кардиологического теста / Л. П. Сычева // Гигиена и санитария. – 2015. – Т. 94. – № 6. – С. 87–91.
227. Сэндл, Т. Механизмы бактериальной адгезии [Электронный ресурс] / Т. Сэндл // Чистые помещения и технологические среды. – 2014. – С. 54–58. – Режим доступа: [www.ivtnetwork.com](http://www.ivtnetwork.com).
228. Тапальский, Д. В. Биосовместимые композиционные антибактериальные покрытия для защиты имплантантов от микробных пленок / Д. В. Тапальский [и др.] // Проб. здоровья и экологии. – 2013. – №2 (36). – С.130–134.
229. Тец, Г. В. Роль внеклеточной ДНК и липидов матрикса во взаимодействии бактерий биопленок с антибиотиками : автореферат дис. ... кандидата медицинских наук : 03.00.07 / Г. В. Тец [Место защиты: С.–Петербург. гос. мед. акад. им. И.И. Мечникова]. – СПб., 2007. – 22 с.
230. Томилов, А. П. Электрохимическая активация – новое направление прикладной электрохимии / А. П. Томилов // Жизнь и безопасность. – 2002. – № 3. – С. 302–307.
231. Тонко, О. В. Характеристика микробной контаминации среды технологического окружения объектов питания / О. В. Тонко, Н. Д. Коломиец, О. Н. Ханенко // Вестник государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 3 (32). – С. 45–47.
232. ТР ЕАЭС 040/2016 О безопасности рыбы и рыбной продукции.

233. ТР ТС 005/2011 О безопасности упаковки.
234. ТР ТС 021/2011 О безопасности пищевой продукции.
235. ТР ТС 029/2012 Требования безопасности пищевых добавок, ароматизаторов и технологических вспомогательных средств.
236. Туркутюков, В. Б. Молекулярные особенности морфологии биопленок формируемых штаммами неферментирующих грамотригативных бактерий / В. Б. Туркутюков // Тихоокеанский медицинский журнал. – 2013. – № 4. – С. 44–47.
237. Тутельян, А. В. Образование биологических пленок микроорганизмов на пищевых производствах / А. В. Тутельян [и др.] // Вопросы питания. – 2019. – № 3. – С. 32–43.
238. Тырнов, В. Серебряный нанобум [Электронный ресурс] / В. Тырнов // Общество и наука. – 2010. – Режим доступа: [http://vtyrnov.blogspot.ru/2010/07/blog-post\\_07.html](http://vtyrnov.blogspot.ru/2010/07/blog-post_07.html).
239. Указ Президента Российской Федерации от 05.01.2016 г. № 7 «О проведении в Российской Федерации Года экологии».
240. Указ Президента Российской Федерации от 11.03.2019 г. № 97 «Об Основах государственной политики Российской Федерации в области обеспечения химической и биологической безопасности на период до 2025 года и дальнейшую перспективу».
241. Умная упаковка скажет, когда пища испортится [Электронный ресурс] // ChemPort.Ru: [хим. портал]. – 2011. – Режим доступа: <http://www.chemport.ru/datenews.php?news=2638>.
242. Установки АКВАХЛОР–М [Электронный ресурс] // Делфин Аква: науч.–произв. компания. – Режим доступа: <http://www.delfin-aqua.com>.
243. Ушакова, В. Н. Мойка и дезинфекция: пищевая промышленность, торговля, общественное питание / В. Н. Ушакова – Санкт–Петербург: Профессия, 2009. – 288 с.
244. ФАО. Положение дел в области продовольственной безопасности и питания в мире – 2018. Повышение устойчивости к климатическим воздействиям в целях обеспечения продовольственной безопасности и питания. Рим. – 2018. – 181 с.

245. Федоренко, Е. В. Актуальные проблемы микробиологической безопасности пищевой продукции / Е. В. Федоренко, Н. Д. Коломиец, С. И. Сычик // Гигиена и санитария. – 2016. – Т. 95. – № 9. – С. 244–256.
246. Федотова, А. В. Наномодифицированное латексное покрытие для защиты колбасных изделий / А. В. Федотова, Ю. В. Фролова, О. А. Сдобникова // Мясная индустрия. – 2013. – №10. – С. 24–26.
247. Харина, Т. В. Практическое применение технологии шоковой заморозки в ресторане при приготовлении блюда из рыбы / Т. В. Харина. – 2015. – С. 161.
248. Харламова, Т. А. Применение электролиза под давлением для деструктивного окисления фенола и азокрасителей / Т. А. Харламова, З. М. Алиев // Электрохимия. – 2016. – Т. 52. – № 3. – С. 291–300.
249. Харламова, Т. А. Перспективные электрохимические процессы в технологиях обезвреживания сточных вод. Электрохимическая деструкция органических веществ; использование электролиза в технологии очистки воды / Т. А. Харламова [и др.] // Известия Национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия химии и технологии. – 2013. – № 5. – С. 11–20.
250. Хвостов, П. Е. Упаковывание с использованием модифицированной газовой среды / П. Е. Хвостов // Упаковка. – 2011. – № 6. – С. 56–58.
251. Хмелев, В. Н. Ультразвуковое распыление жидкостей: монография / В. Н. Хмелев [и др.] // Алт. гос. техн. ун–т, БТИ. – 2010. – 250 с.
252. Хотимченко, С. А. Проблема обеспечения безопасности наноразмерных объектов для здоровья человека / С.А. Хотимченко, И. В. Гмошинский, В. А. Тутельян // Гигиена и санитария. – 2009. – № 5. – С. 7–11.
253. Храпенков, С. Н. Воздействие электрохимически активированных систем на ферменты солода / С. Н. Храпенков, М. В. Гернет, В. М. Бахир // Пиво и напитки. – 2002. – № 5. – С. 20–21.
254. Храпенков, С. Н. Электрохимическая активация при получении пивного сусла / С. Н. Храпенков, М. В. Гернет, Д. А. Свиридов, К. В. Кобелев, В. М. Бахир // Пиво и напитки. – 2003. – № 4. – С. 18–19.

255. Храпенков, С. Н. Применение ЭХА растворов и ферментных препаратов для экстракции хмеля / С. Н. Храпенков, М. В. Гернет, Д. А. Свиридов, К. В. Кобелев, В. М. Бахир // Пиво и напитки. – 2004. – № 2. – С. 32–33.
256. Цибизова, М. Е. Использование рыбного белка в сбалансированном питании / М. Е. Цибизова, Н. Д. Аверьянова // Вестник АГУ. – 2009.
257. Чеботарь, И. В. Биопленки *Staphylococcus aureus*: структурнофункциональные характеристики и взаимоотношения с нейтрофилами: автореф. дисс... докт. мед. наук: 03.02.03 / И. В. Чеботарь [Место защиты: Моск. науч.-исслед. ин-т эпидемиологии и микробиологии им. Г.Н. Габричевского МЗ РФ]. – М., 2013. – 43 с.
258. Чеботарь, И. В. Антибиотикорезистентность биопленочных бактерий / И. В. Чеботарь [и др.]. // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. – Москва: М-Вести, 2012. – Т. 14. – № 1. – 51–58 с.
259. Чеботарь, И. В. Современные технологии исследования бактериальных биопленок / И. В. Чеботарь [и др.]. // Современные технологии в медицине. – 2013. – № 5(1). – С. 14–20.
260. Чередниченко, А. Новое антибактериальное покрытие витрин «Costan» [Электронный ресурс] / А.Чередниченко // Практика торговли: сетевой журн. – 2012. – Режим доступа: <http://www.retailmagazine.ru/article.php?numn=6319>.
261. Чернявский, В. И. Бактериальные биопленки и инфекции / В. И. Чернявский // *Annals of Mechnikov Institute*. – 2013. – № 1. – С. 86–90.
262. Чиж, Т. В. Радиационная обработка как технологический прием в целях повышения уровня продовольственной безопасности / Т. В.Чиж [и др.] // Вестник Российской академии естественных наук. – 2011. – №. 4. – С. 44–49.
263. Чичко, А. А. Разработка технологии вареных колбас с использованием активированных белоксодержащих систем. Автореферат дисс. на соискание ученой степени канд. техн. наук по спец.: 05.18.04 / А. А. Чичко. – 2005. – 202 с.
264. Чушкина, Е. И. Механизм биологического действия и опыт применения электрохимически активированных водных сред в сельском хозяйстве / Е. И. Чушкина // Научный журнал РНИИ проблем мелиорации. – 2015. – №. 4. – С. 170–181.

265. Шаманаева, Е. А. Электрохимическая активация как способ безреагентного регулирования свойств жидких пищевых сред: Монография / Е. А. Шаманаева. – Ставрополь: Изд-во Северо-Кавказского государственного технического университета, 2007. – 28 с.
266. Шахов, С. В. Разработка вакуум-сублимационной сушилки для обезвоживания жидких продуктов / С. В. Шахов, Г. И. Мосолов, Р. Барыкин // Вестник МАХ. – 2014. – № 3. – С. 58.
267. Шестакова, И. В. Инфекционная заболеваемость в Российской Федерации в 2000–2017 гг.: успех или провал? / И. В. Шестакова // Инфекционные болезни: Новости. Мнения. Обучение. – 2017. – № 3 (20). – С. 133–140.
268. Шилов, Г. Ю. Современные методы дезинфекции салатных культур, овощей, фруктов / Г. Ю. Шилов // Пищевая промышленность. – 2013. – № 8. – С. 13–17.
269. Шилова, Е. Н. Дезинфицирующая активность препарата "анолит" при аэрозольной дезинфекции животноводческих помещений / Е. Н. Шилова, М. А. Исаев // Ветеринария Кубани. – 2009. – № 4. – С. 6–7.
270. Шкарин, В. В. Организационно–функциональная модель мониторинга устойчивости микроорганизмов к дезинфицирующим средствам на региональном уровне / В. В. Шкарин [и др.]. // Дезинфекционное дело. – 2011. – С. 14–17.
271. Шульгина, Т. А. Антибактериальное действие водных дисперсий наночастиц серебра на грамотрицательные микроорганизмы (на примере *Escherichia coli*) / Т. А. Шульгина, И. А. Норкин, Д. М. Пучиньян // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 7–2. – С. 424.
272. Яковлева, Л. А. Полимерная упаковка нового поколения с бактерицидными свойствами / Л. А. Яковлева, Б. Ф. Колесников, Г. А. Кондратов, А. В. Маркелов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 1999. – № 6. – С. 44–47.
273. Abadias, M. Efficacy of neutral electrolyzed water for reducing microbial contamination on minimally-processed vegetables / M. Abadias [et al.] // International Journal of Food Microbiology – doi:10.1016/j.ijfoodmicro.2007.12.008–2008. – P.151–158.
274. Abramzon, N. Biofilm destruction by RF high–pressure cold plasma jet / N. Abramzon [et al.] // IEEE Transactions on Plasma Sciences. – 2006. – N34. – P.



1304–1309.

275. Adley, C. C. The Nature and Extent of Foodborne Disease / C. C. Adley, M. P. Ryan // *Antimicrobial Food Packaging*. – 2016. – 1–10. doi:10.1016/b978-0-12-800723-5.00001-2.

276. Afshari, R. Non-thermal plasma as a new food preservation method, its present and future prospect / R. Afshari, H. Hosseini // *Journal of Paramedical Sciences*. – 2014. – N5. – P. 116–120.

277. Ahn, M. K. Removal of Hardness from Water Samples by a Carbonation Process with a Closed Pressure Reactor. *Water* / M. K. Ahn, R. Chilakala, C. Han, T. Thenepalli – 2018. – 10, 54. – doi: 10.3390/w10010054.

278. Akabanda, F. Food safety knowledge, attitudes and practices of institutional food-handlers in Ghana / F. Akabanda, E.H. Hlortsi, J. Owusu-Kwarteng // *BMC Public Health* – 2017.– 17(1). – doi:10.1186/s12889-016-3986-9.

279. Aliyu, A. Bacteriological and Elemental Quality of *Clarias gariepinus* (cat fish) Samples from River Lavun, Bida Niger state, Nigeria / A. liyu, Y. K. E. Ibrahim, R. A. Oyi // *Nigerian Journal of Pharmaceutical Research*. – 2018. – 12(2). – 139–147.

280. Allen, D. W. A comparison of the effects of gamma- and electron beam-irradiation on additives present in food contact polymers / D. W. Allen, A.Crowson, D. A. Leathard // *Chemical Contaminants from Food Contact Materials: Norwich*. – 1991. – March 5–6.

281. Almasoud, A. Electrostatic spraying of organic acids on biofilms formed by *E. coli* O157:H7 and *Salmonella* Typhimurium on fresh produce / A. Almasoud [et al.] // *Food Research International*. – 2015. – p.78, 27–33. doi:10.1016/j.foodres.2015.11.012.

282. Altman, R. Colloidal silver / R. Altman. – 1999. – URL: <http://www.silver-colloids.com/Papers/AltmanStudy.PDF>.

283. Ansari, F. A. Factors Affecting Biofilm Formation in vitro and in the Rhizosphere / F. Ansari [et al.] // *Biofilms in Plant and Soil Health* – 2017 – 275–290. – doi:10.1002/9781119246329.ch15.

284. Anthony, I. O. Wastewater treatment plants as a source of microbial pathogens in receiving watersheds / I. O. Anthony [et al.] // *African Journal of Biotechnology*. – 2007.– 6(25).– 2932–2944. – doi:10.5897/ajb2007.000–2462.
285. Arifah, R.A. The effect of alkaline drinking water to increase the number of plasma cells in chronic inflammation. Undergraduate Thesis, Fakultas Kedokteran Gigi / R. A. Arifah // Universitas Airlangga Surabaya. – 2015. – V. 14. – P. 35–47.
286. Audenaert, K. Neutralized electrolyzed water efficiently reduces *Fusarium* spp. in vitro and on wheat kernels but can trigger deoxynivalenol biosynthesis. *Food Control* / K.Audenaert [et al.] – 2012. – V. 23. – P. 515–521.
287. Austen, B.L. Pharmaceutical water systems: a thermal–fluid analysis of pipe dead–legs / B. L. Austen // Master of Engineering thesis, Dublin City University. – 2005. URL: <http://doras.dcu.ie/17237>.
288. Ayebah, B. Electrolyzed water and its corrosiveness on various surface materials commonly found in food processing facilities / B. Ayebah, Y. C. Hung // *Journal of Food Process Engineering*. – 2005. – N 28. – P. 247–264.
289. Baier, M. Direct non–thermal plasma treatment for the sanitation of fresh corn salad leaves: evaluation of physical and physiological effects and antimicrobial efficacy / M. Baier [et al.] // *Postharvest Biology and Technology*. –2013. – N 84. – P. 81–87.
290. Bakhir, V.M.Universal Electrochemical Technology for Environmental Protection / V. M. Bakhir, A. G. Pogorelov // *International Journal of Pharmaceutical Research & Allied Sciences*. – 2018. – 7(1). – P. 41–57.
291. Balandin, G. Selective action of silver nanoparticles against bacteria and fungi / G. Balandin, O. Suvorov, L. Shaburova, G. Ermolaeva // *BIOspektrum. Gemeinsamen Konferenz von DGHM und VAAM*. 05–08– Oktober. – Dresden. – 2014. – P. 289–290.
292. Balandin, G. The study of the antimicrobial activity of colloidal solutions of silver nanoparticles prepared using food stabilizers / G. Balandin, O. Suvorov, L. Shaburova, D. Podkopaev, Yu. Frolova, G. Ermolaeva // *Journal of Food Science and Technology*. – 2015. – V. 52. N 6. – P. 3881–3886. – DOI:10.1007/s13197–014–1455–y.

293. Barriere, S. L. Clinical, economic and societal impact of antibiotic resistance / S. L. Barriere // *Expert Opinion on Pharmacotherapy* – 2014.– 16(2). – 151–153. doi:10.1517/14656566.2015.983077.
294. Beeman, M. G. Electrochemical Detection of *E. coli* O157:H7 in Water after Electrochemical and Ultraviolet Treatments Using a Polyguanine–Labeled Secondary Bead Sensor // *Sensors* – 2018. – 18.– 1497. doi: 10.3390/s18051497.
295. Bermúdez-Aguirre, D. Effect of atmospheric pressure cold plasma (APCP) on the inactivation of *Escherichia coli* in fresh produce / D.Bermúdez-Aguirre [et al.] // *Food Control*. – 2013. – N 34. – P. 149–157.
296. Bhilwadikar, T. Decontamination of Microorganisms and Pesticides from Fresh Fruits and Vegetables: A Comprehensive Review from Common Household Processes to Modern Techniques / T. Bhilwadikar [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2019.– 18(4). – 1003–1038. doi:10.1111/1541–4337.12453.
297. Billings, N. Microfluidic–based Time–kill Kinetic Assay / N.Billings [et al.] // *BIO–PROTOCOL* – 2014. – 4(9). doi:10.21769/bioprotoc.1116.
298. Birla, S. S. Fabrication of silver nanoparticles by *Phoma glomerata* and its combined effect against *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* / S. S. Birla, V. V. Tiwari, A. K. Gade // *Letters in applied microbiology*. – 2009. – V. 48. – N 2. – P. 173–179.
299. Bohinc, K. Characteristics dictate microbial adhesion ability / K. Bohinc, M. Jevšnik, R. Fink // *Biological and pharmaceutical applications of nanomaterials*. – Boca Raton: CRC Press. – 2015. – P. 210–231.
300. Bojanowska-Czajka Decomposition of pesticide chlorfenvinphos in aqueous solutions by gamma–irradiation / Bojanowska–Czajka, A.Gałezowska, M. Trojanowicz // *J. Radioanal. Nucl. Chem*. – 2010. – P. 215–221.
301. Bondarenko, O. Toxicity of Ag, CuO and ZnO nanoparticles to selected environmentally relevant test organisms and mammalian cells in vitro: a critical review / O. Bondarenko [et al.] // *Archives of toxicology*. – 2013. – V. 87. – N 7. – P. 1181–1200.
302. Bonebrake, M. Biofilms Benefiting Plants Exposed to ZnO and CuO Nanoparticles Studied with a Root–Mimetic Hollow Fiber Membrane / M. Bonebrake [et al.] // *Journal*

of Agricultural and Food Chemistry. – 2017. – 66(26). – 6619–6627.  
doi:10.1021/acs.jafc.7b02524.

303. Bouyer, E.  $\beta$ -Lactoglobulin, gum arabic, and xanthan gum for emulsifying sweet almond oil: formulation and stabilization mechanisms of pharmaceutical emulsions / E. Bouyer [et al.] // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. – 2013. – V. 433. – P. 77–87.

304. Boyle, M. A. Control of bacterial contamination of washbasin taps and output water using Ecasol: a one-year study / M. A. Boyle // *Journal of Hospital Infection* – 2012. – 80(4). – 288–292.

305. Brandl, M. T. Fitness of human enteric pathogens on plants and implications for food safety / M. T. Brandl // *Annual Review of Phytopathology*. – 2006. – N 44. – P. 367–369.

306. Brányik, T. Growth model and metabolic activity of brewing yeast biofilm on the surface of spent grains: a biocatalyst for continuous beer fermentation / T. Brányik [et al.] // *Biotechnology progress*. – 2004. – V. 20. – N 6. – P. 1733–1740.

307. Braydich-Stolle, L.K. Silver nanoparticles disrupt GDNF/Fyn kinase signaling in spermatogonial stem cells / L.K. Braydich-Stolle [et al.] // *Toxicological sciences*. – 2010. – V. 116. – N 2. – P. 577–589.

308. Brelles-Marino, G. Challenges in biofilm inactivation: the use of cold plasma as a new approach / G. Brelles-Marino // *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. – 2012. – N2. – P. 159–170.

309. Bulychev, N. A. Nanostructure of Organic–Inorganic Composite Materials Based on Polymer Hydrogels / N. A. Bulychev, A. V. Ivanov // *International Journal of Nanotechnology*. – 2019. – V. 16. – Nos. 6/7/8/9/10. – P. 344 – 355.

310. Bulychev, N. A. Obtaining of hydrogen in acoustoplasma discharge in liquids / N. A. Bulychev, M. A. Kazaryan, M. N. Kirichenko, B. A. Garibyan, E. A. Morozova, A. A. Chernov // *Proceedings of SPIE*. – 2018 – V. 10614. – article number 1061411–1. DOI: 10.1117/12.2303452.

311. Cárdenas, G. Colloidal Cu nanoparticles/chitosan composite film obtained by microwave heating for food package applications / G. Cárdenas, M. F. Meléndrez, A. G. Cancino // *Polymer bulletin*. – 2009. – V. 62. – N 4. – P. 511–524.
312. Carrel, M. Biofilms in 3D porous media: Delineating the influence of the pore network geometry, flow and mass transfer on biofilm development / M. Carrel [et al.] // *Water research*, 2018. – p. 280–291. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2018.01.059>.
313. Castilho, N. P. A. Adequacy of Petrifilm™ Aerobic Count plates supplemented with de Man, Rogosa & Sharpe broth and chlorophenol red for enumeration of lactic acid bacteria in salami / N. P. A. Castilho [et al.] // *Meat Science*. – 2015. – 110, 253–261. [doi:10.1016/j.meatsci.2015.07.015](https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.07.015).
314. Ceri, H. The Calgary Biofilm Device: New Technology for Rapid Determination of Antibiotic Susceptibilities of Bacterial Biofilms / H. Ceri [et al.] // *Journal of Clinical Microbiology*. – 1999. – 37(6). – 1771–1776. [doi:10.1128/jcm.37.6.1771–1776](https://doi.org/10.1128/jcm.37.6.1771-1776).
315. Chaudhry, Q. Nanomaterials in food and food contact materials—potential implications for consumer safety and regulatory controls / Q. Chaudhry, L. Castle, R. Watkins // *Nanotechnology in the agri-food sector*. – 2011. – V. 1. – P. 3.
316. Chen, J. Effect of Combined Pretreatment with Slightly Acidic Electrolyzed Water and Botanic Biopreservative on Quality and Shelf Life of Bombay Duck (*Harpadon nehereus*) / J. Chen, B. Xu, S. Deng, Y. Huang // *Volume 39, Issue 2*. – April 2016. – Pages 116–125. <https://doi.org/10.1111/jfq.12182>.
317. Chen, Z. G. Preparation of high purity ZnO nanobelts by thermal evaporation of ZnS / Z. G. Chen [et al.] // *Journal of nanoscience and nanotechnology*. – 2006. – V. 6. – N. 3. – P. 704–707.
318. Cheng, K.-C. Electrolyzed oxidizing water for microbial decontamination of food / K.-C. Cheng [et al.] // *Microbial Decontamination in the Food Industry*. – 2012. – P. 563–591.
319. Choi, W. Enhancement of anti-skin inflammatory activities of *scutellaria baicalensis* using an alkaline reduced water extraction process / W. Choi, K. Hee-Souk, Y. L. Hyeon // *MSc Thesis, Department of Medical Biomaterials Engineering, Kangwon National University, Chuncheon, Gangwon, Korea*. – 2014. – V. 12. – P. 700–711.

320. Chyer, K. Roles of Oxidation–Reduction Potential in Electrolyzed Oxidizing and Chemically Modified Water for the Inactivation of Food–Related Pathogens / K.Chyer, H.Yen–Con, R. E. Brackett // *Journal of Food Protection®*, Volume 63, Number 1, – 2000. – P. 19–24(6).
321. CIDRAP: Center for Infectious Disease Research and Policy, 2015. URL: <http://www.cidrap.umn.edu/cidrap/content/fs/food–disease/causes>.
322. Ciurzyńska, A. Rehydration and sorption properties of osmotically pretreated freeze–dried strawberries / A. Ciurzyńska, A. Lenart // *Journal of Food Engineering*, 97(2). – 2010. – P. 267–274.
323. Cloete, T. E. The antimicrobial mechanism of electrochemically activated water against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* as determined by SDS–PAGE analysis / T. E. Cloete [et al.] // *The Society for Applied Microbiology, Journal of Applied Microbiology*. – 2009. – 379–384.
324. Conal, D. A foundation for Pareto optimality / D. Conal, P. Ashley // *Journal of Mathematical Economics*. – 2020. – N 88. – P. 25–30.
325. Coenye, T. In vitro and in vivo model systems to study microbial biofilm formation / T. Coenye, H. J. Nelis // *Journal of Microbiological Methods* – 2010. – 83(2). – 89–105. doi:10.1016/j.mimet.2010.08.018.
326. Critzer, F. Atmospheric plasma inactivation of foodborne pathogens on fresh produce surfaces / F.Critzer [et al.] // *Journal of Food Protection*. – 2007. – N70. – P. 2290–2296.
327. D’Atanasio, N. A. New Acid–oxidizing Solution: Assessment of Its Role on Methicillin–resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) Biofilm Morphological Changes / N. A. D’Atanasio [et al.] // *Wounds*. – 2015. – 27(10). – 265–273.
328. D’Atanasio, N. Antibacterial activity of novel dual bacterial DNA type II topoisomerase inhibitors / N. D’Atanasio [et al.] // *PLOS ONE* – 2020. – 15(2). – e0228509. doi:10.1371/journal.pone.0228509.
329. Da Silva, M. P. Degradation of alachlor herbicide by gamma radiation from cobalt–60 in aqueous and alcohol solution / M. P. Da Silva, M. Vieira // *J. Radioanal Nucl. Chem*. – 2009. – P. 323–327.

330. De Bellis, P. Toxigenic potential and heat survival of spore-forming bacteria isolated from bread and ingredients / P. De Bellis [et al.] // *Int. J. Food Microbiol* – 2015. – V. 197. – P. 30. doi: 10.1016/j.ijfoodmicro.2014.12.017.
331. De Giusti, M. The evaluation of the microbial safety of fresh ready-to-eat vegetables produced by different technologies in Italy / M. De Giusti [et al.] // *Journal of Applied Microbiology* – 109(3). – 996–1006. doi:10.1111/j.1365-2672.2010.04727.x.
332. Deng, X. Protein destruction by a helium atmospheric pressure glow discharge: capability and mechanisms / X. Deng, J. Shi, M. Kong // *Journal of Applied Physics*. – 2007. – N12. – P. 97–101.
333. Deza, M. A. Efficacy of Neutral Electrolyzed Water To Inactivate *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Staphylococcus aureus* on Plastic and Wooden Kitchen Cutting Boards / M. A. Deza, M. Araujo, M. J. Garrido // Source: *Journal of Food Protection*. – 2007. – V. 70. – N 1. – P. 102–108.
334. Ding, T. *Electrolyzed Water in Food: Fundamentals and Applications* / T. Ding, D.-H. Oh, D. Liu – 2019. – doi:10.1007/978-981-13-3807-6.
335. Drescher, K. Biofilm streamers cause catastrophic disruption of flow with consequences for environmental and medical systems / K. Drescher [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences* – 2013. – 110(11). – 4345–4350. – doi:10.1073/pnas.1300321110.
336. Dufour, D. Bacterial biofilm: structure, function, and antimicrobial resistance / D. Dufour, V. Leung, C. M. Lévesque // *Endodontic Topics*. – 2010. – 22(1). – 2–16. doi:10.1111/j.1601-1546.2012.00277.x.
337. Ehlbeck, J. Low temperature atmospheric pressure plasma sources for microbial decontamination / J. Ehlbeck, U. Schnabel, M. Polak, J. Winter // *Journal of Physics D: Applied Physics*. – 2011. – N44. – p. 177–183.
338. Ehret, D. L. Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture / D. L. Ehret [et al.] // *Agronomie*. – 2011. – 21(4). – 323–339. – doi:10.1051/agro:2001127.

339. Emamifar, A. Preparation and evaluation of nanocomposite LDPE films containing Ag and ZnO for food-packaging applications / A. Emamifar, M. Kadivar, M. Shahedi, S. Soleimanian-Zad // *Advanced Materials Research* – 2010.
340. Ermolaeva, S. Bactericidal effects of non-thermal argon plasma in vitro, in biofilms and in the animal model of infected wounds / S. Ermolaeva [et al.] // *Journal of Medical Microbiology*. – 2011. – N 60. – P. 75–83.
341. Escobedo-González, R. A theoretical study of 8-chloro-9-hydroxy-aflatoxin B1, the conversion product of aflatoxin B1 by neutral electrolyzed water / R. Escobedo-González [et al.] // *Toxins*. –2016. – V. 8 – P. 225–238.
342. Espeso, D. Stenosis triggers spread of helical *Pseudomonas* biofilms in cylindrical flow systems / D. Espeso [et al.] // *Scientific Reports*. – 2016. – 6(1). – doi:10.1038/srep27170.
343. Esteban-Tejeda, L. The antibacterial and antifungal activity of a soda-lime glass containing silver nanoparticles / L. Esteban-Tejeda [et al.] // *Nanotechnology*. – 2009. – V. 20. – N. 8. –P. 85–103.
344. Fabrizio, K. A. Stability of Electrolyzed Oxidizing Water and Its Efficacy against Cell Suspensions of *Salmonella Typhimurium* and *Listeria monocytogenes* / K. A. Fabrizio, C. N. Cutter // *Journal of Food Protection*. – 2003. – V. 66. – N 8. – P. 1379–1384.
345. Fabrizio, K. A. Application of electrolyzed oxidizing water to reduce *Listeria monocytogenes* on ready-to-eat meats / K. A. Fabrizio, C. N. Cutter // *Meat Science* – 71(2). – 327–333.
346. Fahmy, B. Copper oxide nanoparticles induce oxidative stress and cytotoxicity in airway epithelial cells / B. Fahmy, S. A. Cormier // *Toxicology In Vitro*. – 2009. – V. 23. – N 7. – P. 1365–1371.
347. FAO WHO. Risk assessment of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods. Technical Report // *Microbiological risk assessment series* – N5. – 2004. – 269 p.
348. FAO WHO. Expert Meeting on the Application of Nanotechnologies in the Food and Agriculture Sectors: Potential Food Safety Implications: Meeting Report / FAO/WHO. – 2010. – URL: <http://www.fao.org/docrep/012/i1434e/i1434e00.pdf>.



349. FDA. Nanotechnology. A Report of the U.S. Food and Drug Administration Nanotechnology Task Force. – 2007. – URL: <http://www.fda.gov/ScienceResearch/SpecialTopics/Nanotechnology>.
350. FDA. Food additive status list. – 2013. – URL: <http://www.fda.gov/food/ingredientspackaginglabeling/foodadditivesingredients/ucm091048.htm>.
351. FDA. Guidance for Industry: Assessing the Effects of Significant Manufacturing Process Changes, Including Emerging Technologies, on the Safety and Regulatory Status of Food Ingredients and Food Contact Substances, Including Food Ingredients that Are Color Additives. – 2014. – URL: <http://www.fda.gov/RegulatoryInformation/Guidances/ucm300661.htm>
352. Feliziani, E. Disinfecting agents for controlling fruit and vegetable diseases after harvest / E. Feliziani [et al.] // *Postharvest Biology and Technology* – 122, 53–69. – doi:10.1016/j.postharvbio.2016.04.016.
353. Femi–Ola, T. O. Citric acid production from brewers spent grain by *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae* / T. O. Femi–Ola, V. A. Atere // *International Journal of Research in BioSciences*. – 2013. – V. 2. – N. 1. – P. 30–36.
354. Fernandez, A. The inactivation of *Salmonella* by cold atmospheric plasma treatment / A. Fernandez, A. Thompson // *Food Research International*. – 2012. – N45. – p. 678–684.
355. Fewtrell, L. Silver: water disinfection and toxicity / L. Fewtrell – 2014. – URL: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/Silver\\_water\\_disinfection\\_toxicity\\_2014V2.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/Silver_water_disinfection_toxicity_2014V2.pdf?ua=1).
356. Fleetwood, J. As clean as they look? Food hygiene inspection scores, microbiological contamination, and foodborne illness / J. Fleetwood [et al.] // *Food Control* – 2019. –p. 96, 76–86. – doi:10.1016/j.foodcont.2018.08.034.
357. Fleming, D. W. Pasteurised milk as a vehicle of infection in an outbreak of listeriosis / D. W. Fleming, S. L. Cochi, K. L. MacDonald // *New England Journal of Medicine*. – 1985. – N312. – p. 404–407.

358. Flemming, H.-C. The biofilm matrix / H.-C. Flemming, J. Wingender // *Nature Reviews Microbiology* – 2010. – 8(9). – 623–633. – doi:10.1038/nrmicro2415.
359. Flemming, H.-C. Biofilms: an emergent form of bacterial life / H.-C. Flemming [et al.] // *Nature Reviews Microbiology* – 2016. – 14(9). – 563–575.
360. Florjanič, M. The control of biofilm formation by hydrodynamics of purified water in industrial distribution system / M. Florjanič, J. Kristl // *International Journal of Pharmaceutics* – 2011. – 405(1–2). – 16–22. – doi:10.1016/j.ijpharm.2010.11.038.
361. Food preservation by radiation. – 2011. URL : <https://netfiles.uiuc.edu>.
362. Founou, L. L., Antibiotic resistance in the food chain: a developing country–perspective / L. L. Founou, R. C. Founou, S. Y. Essack // *Frontiers in microbiology*. – 2016. – V. 7. – P. 18–22.
363. Frajese, G. V. Electrochemically Reduced Water Delays Mammary Tumors Growth in Mice and Inhibits Breast Cancer Cells Survival In Vitro / G. V. Frajese [et al.] // *Evid Based Complement Alternat Med*. – 2018:4753507.
364. Fritz, B. G. Evaluation of Petrifilm™ Aerobic Count Plates as an Equivalent Alternative to Drop Plating on R2A Agar Plates in a Biofilm Disinfectant Efficacy Test / B. G. Fritz [et al.] // *Current Microbiology* – 70(3).– 450–456. doi:10.1007/s00284–014–0738–x.
365. Gajbhiye, M. Fungus-mediated synthesis of silver nanoparticles and their activity against pathogenic fungi in combination with fluconazole / M. Gajbhiye [et al.] // *Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine*. – 2009. – V. 5. – N 4. – P. 382–386.
366. Gerzhova, A. Acomparative study between the electro-activation technique and conventional extraction method on the extractability, composition and physicochemical properties of canola protein concentrates and isolates *Food Bioscience* / A.Gerzhova [et al.] – 2015. – DOI: 10.1016/j.fbio.2015.04.005.
367. Gil, M. I. Potential of Electrolyzed Water as an Alternative Disinfectant Agent in the Fresh-Cut Industry / M. I. Gil [et al.] // *Food and Bioprocess Technology* – 2015. – 8(6). – 1336–1348. – doi:10.1007/s11947–014–1444–1.
368. Gluhchev, G. Electrochemically Activated Water: Biophysical and Biological Effects of Anolyte and Catholyte Types of Water / G. Gluhchev // *European Journal of*

- Molecular Biotechnology – 2015. – V. 7. – Is. 1. – P. 12–26. – DOI: 10.13187/ejmb.2015.7.12.
369. Goeres, D. M. A method for growing a biofilm under low shear at the air–liquid interface using the drip flow biofilm reactor / D. M. Goeres [et al.] // Nature Protocols – 2009. – 4(5). – 783–788. doi:10.1038/nprot.2009.59.
370. Gomes, I. B. An overview on the reactors to study drinking water biofilms / I. B. Gomes [et al.] // Water Research – 62, 63–87. –doi:10.1016/j.watres.2014.05.039.
371. Gómez–Espinosa, D. Ameliorative effects of neutral electrolyzed water on growth performance, biochemical constituents, and histopathological changes in Turkey poult during aflatoxicosis / D. Gómez–Espinosa, F. J. Cervantes–Aguilar, D. Río–García, J. Carlos // Toxins. – 2017. – V. 9. – N 3. – P. 104–113.
372. Gong, P. Preparation and antibacterial activity of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>@Ag nanoparticles / P. Gong, H. Li, X. He // Nanotechnology. – 2007. – V. 18. – N 28. – P. 285–304.
373. Goodburn, C. The microbiological efficacy of decontamination methodologies for fresh produce: A review / C. Goodburn, C. A. Wallace // Food Control – 2013.– 32(2). – 418–427. – doi:10.1016/j.foodcont.2012.12.012.
374. Göransson, A. A. Systematic approach to food safety / A. A. Göransson // Journal of Hygienic Engineering and Design. – 2012. – V. 1. – P. 179–181.
375. Grass, G. Metallic copper as an antimicrobial surface / G. Grass [et al.] // Applied and environmental microbiology. – 2011. – V. 77. – N 5. – P. 1541–1547.
376. Graves, D. The emerging role of reactive oxygen and nitrogen species in redox biology and some implications for plasma applications to medicine and biology / D. Graves // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2012. – N 44. – P. 503–533.
377. Gunawan, C. Widespread and indiscriminate nanosilver use: genuine potential for microbial resistance / C. Gunawan [et al.] // ACS nano. – 2017. – V. 11. – N 4. – P. 3438–3445.
378. Guzman, M. Synthesis and antibacterial activity of silver nanoparticles against gram–positive and gram–negative bacteria / M. Guzman, J. Dille, S. Godet // Nanomedicine: Nanotechnology, Biology and Medicine – 2012. – V. 8. – N 1. – P. 37–45. doi:10.1016/j.nano.2011.05.007.

379. Hamasaki, T. Electrochemically reduced water exerts superior reactive oxygen species scavenging activity in HT1080 cells than the equivalent level of hydrogen-dissolved water / T. Hamasaki [et al.] – 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171192>.
380. Hammond, S. T. Food Spoilage, Storage, and Transport: Implications for a Sustainable Future / S. T.Hammond, J. H. Brown, J. R. Burger // *BioScience* – 2015. – 65(8). – 758–768. – doi:10.1093/biosci/biv081.
381. Han, A. L. Hydrogen treatment protects against cell death and senescence induced by oxidative damage / A. L. Han // *J Microbiol Biotechnol.* – 2017. – V. 27. – P. 365–371.
382. Hansen, E. Thaw drip loss and protein characterization of drip from air-frozen, cryogen-frozen, and pressure-shift-frozen pork longissimus dorsi in relation to ice crystal size / E. Hansen [et al.] // *European Food Research and Technology.* – 2003 – N 218 – P. 2–6.
383. Harper, A. The Role of Bacteria, Probiotics and Diet in Irritable Bowel Syndrome / A. Harper, M. Naghibi, D. Garcha // *Foods.* – 2018. – V. 7. – N 2. – P. 13.
384. Harris, L. A. Modulation of the gut microbiota: a focus on treatments for irritable bowel syndrome / L. A. Harris, N. Baffy // *Postgraduate Medical Journal.* – 2017. – V. 129. – N 8. – P. 872–888.
385. Havelaar A. H. Towards an integrated approach in supporting microbiological food safety decisions / A. H.Havelaar [et al.] // *Zoonoses and Public Health.* – 2008. – N54. – P. 103–117.
386. Heaton, J. C. Microbial contamination of fruit and vegetables and the behaviour of enteropathogens in the phyllosphere: a review / J. C. Heaton, K. Jones // *Journal of Applied Microbiology* – 2008. – 104(3). – 613–626.
387. Henry, M. Physico-Chemical, Biological and Therapeutic Characteristics of Electrolyzed Reduced Alkaline Water (ERAW) / M. Henry, J. Chambron // *Water.* - 2013, 5, 2094–2115; doi:10.3390/w5042094.

388. Higashimura, Y. Effects of molecular hydrogen–dissolved alkaline electrolyzed water on intestinal environment in mice / Y. Higashimura // *Medical gas research*. – 2018. – V. 8. – P. 6–12.
389. Higashiyama, Y. Recent progress in electrostatic separation Technology / Y. Higashiyama, K. Asano // *Particulate Science and Technology: An International Journal* – Oct 2007. – V. 19. – P. 78.
390. Holt, K. B. Interaction of silver (I) ions with the respiratory chain of *Escherichia coli*: an electrochemical and scanning electrochemical microscopy study of the antimicrobial mechanism of micromolar  $\text{Ag}^+$  / K. B. Holt, A. J. Bard // *Biochemistry*. – 2005. – V. 44. – N. 39. – P. 13214–13223.
391. Huang, Y. Nanosilver migrated into food–simulating solutions from commercially available food fresh containers / Y. Huang [et al.] // *Packaging Technology & Science*. – 2011. – N24(5). – P. 291–297.
392. Hung, Y.-C. Efficacy of Electrolyzed Oxidizing (Eo) Water and Chlorinated Water for Inactivation of *Escherichia Coli* O157:H7 on Strawberries and Broccoli / Y.-C. Hung, P. Tilly, C. Kim // *Journal of Food Quality* – 2010. – 33(5). – 559–577. – Doi:10.1111/J.1745–4557.2010.00344.X.
393. Hwang, E.T. Analysis of the Toxic Mode of Action of Silver Nanoparticles Using Stress-Specific Bioluminescent Bacteria / E.T. Hwang, Y. J. Chae, J. H. Lee // *Small*. – 2008. – V. 4. – N 6. – P. 746–750.
394. Idris, A. Degradation of phenol in wastewater using anolyte produced from electrochemical generation of brine solution / A. Idris, K. Saed // *Global Nest: the Int. J.* – 2002. – Vol 4. – N 2–3. – P. 139–144.
395. Ignacio, R. M. C. Clinical effect and mechanism of alkaline reduced water / R. M. C. Ignacio, K-B. Joo, K-J. Lee // *J. Food and Drug An.* – 2012. – p. 20, 394–397.
396. ISO/TS 80004–6:2013. ISO Online Browsing Platform. – 2015. – URL: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:ts:80004:-6:ed-1:v1:en>.
397. Ito, H. Effects of electrolyzed hydrogen water ingestion during endurance exercise in a heated environment on body fluid balance and exercise performance / H. Ito, S. Kabayma, K. Goto // *Temperature*. – 2020. – V. 3. – P. 1–10.

398. Ivask, A. Size-dependent toxicity of silver nanoparticles to bacteria, yeast, algae, crustaceans and mammalian cells in vitro / A. Ivask [et al.] // *PloS one*. – 2014. – V. 9. – N 7. – P. e102108.
399. Izquiero-Canas, P.M. Colloidal silver complex as an alternative to sulphur dioxide in winemaking / P. M.Izquiero-Canas // *Food Control* – 2012. – V. 23.– P.73–81.
400. Jaidev, L. R. Fungal mediated biosynthesis of silver nanoparticles, characterization and antimicrobial activity / L.R. Jaidev, G. Narasimha // *Colloids and surfaces B: Biointerfaces*. 2010. V. 81. N 2. P. 430–433.
401. Jardon-Xicotencatl, S. Detoxification of aflatoxin-contaminated maize by neutral electrolyzed oxidizing water / S. Jardon-Xicotencatl [et al.] // *Toxins*. – 2015. – V. 7. – P. 4294–4314.
402. Ji, J. H. Twenty-eight-day inhalation toxicity study of silver nanoparticles in Sprague-Dawley rats / J. H. Ji, J. H. Jung, S. S. Kim // *Inhalation toxicology*. – 2007. – V. 19. – N 10. – P. 857–871.
403. Jo, Y. K. Antifungal activity of silver ions and nanoparticles on phytopathogenic fungi / Y. K. Jo, B. H. Kim, G. Jung // *Plant Disease*. – 2009. – V. 93. – N. 10. – P. 1037–1043.
404. Johansson, B. Functional water—in promotion of health beneficial effects and prevention of disease / B. Johansson // *Internal Medicine Review*. – 2017. – V. 3.
405. Jung, W. K. Antibacterial activity and mechanism of action of the silver ion in *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli* / W. K. Jung, H. C. Koo, K. W. Kim // *Applied and environmental microbiology*. – 2008. – V. 74. – N 7. – P. 2171–2178.
406. Kahru, A. Mapping the dawn of nanoecotoxicological research / A. Kahru, A. Ivask // *Accounts of chemical research*. – 2012. – V. 46. – N 3. – P. 823–833.
407. Kashiwagi, T. Electrochemically Reduced Water Protects Neural Cells from Oxidative Damage / T. Kashiwagi [et al.] // *Hindawi Publishing Corporation Oxidative Medicine and Cellular Longevity*. – 2014. – 18 p.
408. Kathiresan, K. Analysis of antimicrobial silver nanoparticles synthesized by coastal strains of *Escherichia coli* and *Aspergillus niger* / K. Kathiresan [et al.] // *Canadian journal of microbiology*. – 2010. – V. 56. – N 12. – P. 1050–1059.

409. Kato, A. Preparation method of dough for flour foods / A. Kato, Y. Hara, E. Arai, R. Onishi. – 2001. – Dec. 4.
410. Kim, C. Efficacy of electrolyzed oxidizing (EO) and chemically modified water on different types of foodborne pathogens / C. Kim, Y. C. Hung, R. E. Brackett // Source: International Journal of Food Microbiology – 2000. – V. 61. – N 2. – P. 199–207.
411. Kim, J. S. Antimicrobial effects of silver nanoparticles / J. S. Kim [et al.] // Nano-medicine: Nanotechnology, Biology and Medicine. – 2007. – V. 3. – N 1. – P. 95–101.
412. Kim, C. Inactivation of *E. coli* O157:H7 on Blueberries by Electrolyzed Water, Ultraviolet Light, and Ozone / C. Kim, Y.-C. Hung, // Journal of Food Science – 2012. – 77(4). – M206–M211. – doi:10.1111/j.1750–3841.2011.02595.x.
413. Kim, S. The intestinal microbiota: Antibiotics, colonization resistance, and enteric pathogens / S. Kim, A. Covington, E. G. Pamer // Immunological Reviews – 2017. – 279(1) – 90–105. – doi:10.1111/imr.12563.
414. Kobayashi, K. An examination of cooked rice with electrolyzed water / K. Kobayashi, N. Tosa, Y. Hara, S. Horie // Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaisha. – 1996. – 43:930–938.
415. Konrat, K. The bead assay for biofilms: a quick, easy and robust method for testing disinfectants / K. Konrat [et al.] // PloS one. – 2016. – V. 11. – N. 6. – p. 157–163.
416. Krokida, M. K. Effect of Freezedrying Conditions on Shrinkage and Porosity of Dehydrated Agricultural Products / M. K. Krokida [et al.] // Journal of Food Engineering. – 1998. – V. 35. – P. 369–380.
417. Krutyakov, Y. A. Synthesis and properties of silver nanoparticles: advances and prospects / Y. A. Krutyakov [et al.] // Russian Chemical Reviews – 2008. – 77(3). – P. 233–257.
418. Kujundzic, E. Ultrasonic monitoring of early-stage biofilm growth on polymeric surfaces / E. Kujundzic [et al.] // Journal of Microbiological Methods – 2007. – 68(3). – 458–467. – doi:10.1016/j.mimet.2006.10.005.
419. Lara, H. H. Bactericidal effect of silver nanoparticles against multidrug-resistant bacteria / H. H. Lara [et al.] // World Journal of Microbiology and Biotechnology. – 2010. – V. 26. – N 4. – P. 615–621.

420. Lareen, A. Plant root-microbe communication in shaping root microbiomes / A. Lareen, F. Burton, P. Schäfer // *Plant Molecular Biology* – 2016. – 90(6). – 575–587. – doi:10.1007/s11103–015–0417–8.
421. Laroussi, M. Low-temperature plasma-based sterilization: overview and state-of-the-art // *Plasma Processes and Polymers*. – 2005. – N 2. – P. 391–400.
422. Laroussi, M. Sterilization of contaminated matter with an atmospheric pressure plasma / M. Laroussi // *IEEE Transactions on Plasma Sciences*. – 1996. – N 24. – P. 1188–1191.
423. Lee, K. Sterilization of bacteria, yeast, and bacterial endospores by atmospheric–pressure cold plasma using helium and oxygen / K. Lee, K. H. Paek, W. T. Ju, Y. Lee // *Journal of Microbiology*. – 2006. – N 44. – P. 269–275.
424. Lee, M. Y. Electrolyzed–reduced water protects against oxidative damage to DNA, RNA, and protein / M.Y. Lee, Y. K. Kim, K. K. Ryoo, Y. B. Lee, E. J. Park // *Appl Biochem Biotech*. – 2006. – V. 135 – P. 133–144.
425. Lee, J. Image and chemical analyses of freezing–induced aggregates of fish natural actomyosin as affected by various phosphate compounds / J. Lee // *Food Bioscience* – 2017. – V. 19. – P. 57–64.
426. Leipold, F. Decontamination of a rotating cutting tool during operation by means of atmospheric pressure plasmas / F. Leipold, Y. Kusano, F. Hansen, T. Jacobsen // *Food Control*. – 2010. – N21. – P. 1194–1198.
427. Lelieveld, H. Preface to the First Edition / H. Lelieveld, T. Mostert, J. Holah // *Handbook of Hygiene Control in the Food Industry* – 2016. – doi:10.1016/b978–0–08–100155–4.00051–0.
428. Lessa, K. Food healthy knowledge, attitudes and practices: Survey of the general public and food handlers / K. Lessa, C. Cortes, A. Frigola, M.J. Esteve // *International Journal of Gastronomy and Food Science* – 2017. – P. 7, 1–4.
429. Li, L. Biomimetic surface engineering of lanthanide-doped upconversion nanoparticles as versatile bioprobes / L. Li // *Angewandte Chemie International Edition*. – 2012. – V. 51. – N 25. – P. 6121–6125.



430. Litvin, V. Spectroscopy study of silver nanoparticles fabrication using synthetic humic substances and their antimicrobial activity / V. Litvin, B. Minaev, R. Galagan // *Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc.* – 2013. – P. 108, 115–122. – doi:10.1016/j.saa.2013.01.049.
431. Liu, C. Efficiency of electrolyzed oxidizing water on reducing *Listeria monocytogenes* contamination on seafood processing gloves / C. Liu, Y.C. Su // *International Journal of Food Microbiology.* – 2006. – N110. – p. 149–154.
432. Lok, C.N. Silver nanoparticles: partial oxidation and antibacterial activities / C.N. Lok, C.M. Ho, R. Chen // *Journal of Biological Inorganic Chemistry.* – 2007. – V. 12. – N 4. – P. 527–534.
433. Lomer, M. C. E. Dietary sources of inorganic microparticles and their intake in healthy subjects and patients with Crohn's disease / M. C. E. Lomer [et al.] // *British journal of nutrition.* – 2004. – V. 92. – N 06. – P. 947–955.
434. Long, M. C. E. The generation and inactivation mechanism of oxidation–reduction potential of electrolyzed oxidizing water / M. C. E. Long [et al.] // *Journal of Food Engineering.* – 2007. – N78 (4). – P. 1326–1332.
435. Lücking, G. Characterization of aerobic spore–forming bacteria associated with industrial dairy processing environments and product spoilage / G. Lücking [et al.] // *Int. J. Food Microbiology* – 2013. – V. 166. – N2. – P.270.
436. Luhrig, K. Bacterial Community Analysis of Drinking Water Biofilms in Southern Sweden / K. Luhrig [et al.] // *Microbes Environ.* – 2015. – V. 30. – N 1. – P.99–107.
437. Machala, Z. Plasma agents in bio–decontamination by DC discharges in atmospheric air / Z. Machala, L. Chladekova, M. Pelah // *Journal of Physics D: Applied Physics.* – 2010. – N 43. – P. 1–7.
438. Magnuson, J. A. Microflora of partially processed lettuce / J. A. Magnuson [et al.] // *Applied and Environmental Microbiology.* – 1990. – N 56. – P. 3851–3854.
439. Mahmud, M. F. Effect of ionized water and percentage of concentrate on the rumen environment and some of blood characteristics of iraqi lambs / M.F. Mahmud, S.F. Mohammed // *Biochem. Cell. Arch* – 2019. – V. 19. – N 1. – P. 1487–1492.

440. Maierl, M. In vitro Dynamic Model of a Catheterized Bladder and Biofilm Assay / M. Maierl [et al.] // *BIO-PROTOCOL*– 2015. – 5(2). doi:10.21769/bioprotoc.1381.
441. Mai-Prochnow, A. Atmospheric pressure plasmas: infection control and bacterial responses / A. Mai-Prochnow [et al.] // *International Journal of Antimicrobial Agents*. – 2014. – N43. – P. 508–517.
442. Malomo, O. The use of brewer's spent grains in the cultivation of some fungal isolates / O. Malomo, A. O. Daniels, O. Olajiga // *International Journal of Nutrition and Food Sciences*. – 2013. – N 2. – P. 5–9.
443. Marchand, S. Biofilm Formation in Milk Production and Processing Environments; Influence on Milk Quality and Safety / S. Marchand [et al.] // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* – 2016. – 11(2). – P.133–147.
444. Marques, C. Isolation of Persister Cells from Biofilm and Planktonic Populations of *Pseudomonas aeruginosa* / C. Marques // *BIO-PROTOCOL* – 2015. – 5(18). doi:10.21769/bioprotoc.1590.
445. Martinuzzi, R. J. Numerical Simulation of Fluid Flow and Hydrodynamic Analysis in Commonly Used Biomedical Devices in Biofilm Studies. Numerical Simulations – Examples and Applications in Computational Fluid Dynamics / R. J. Martinuzzi, M. Mehdi – 2012. – doi:10.5772/13117.
446. Mary, G. Copper (II) ions and copper nanoparticles-loaded chemically modified cotton cellulose fibers with fair antibacterial properties / G. Mary, S. K. Bajpai // *Journal of Applied Polymer Science*. – 2009. – V. 113. – N 2. – P. 757–766.
447. Massey, L. M. Electrostatic Spray of Food-Grade Organic Acids and Plant Extract to Reduce *Escherichia coli* O157:H7 on Fresh-Cut Cantaloupe Cubes / L. M. Massey [et al.] // *Journal of Food Safety* – 2012. – 33(1). – P. 71–78. – doi:10.1111/jfs.12024.
448. Matthes, R. Antimicrobial efficacy of an atmospheric pressure plasma jet against biofilms of *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus epidermidis* / R. Matthes [et al.] // *Plasma Processes and Polymers*. – 2013. – N10. – P. 161–166.
449. McLauchlin, J. *Listeria* in food / J. McLauchlin, R. J. Gilbert // *PHLS Microbiology Digest*. – 1990. – N 7. – P. 54–55.

450. Meireles, A. Comparative stability and efficacy of selected chlorine-based biocides against *Escherichia coli* in planktonic and biofilm states / A. Meireles [et al.] // *Food Research International* – 2017. – 102. – P. 511–518. – doi:10.1016/j.foodres.2017.09.033.
451. Meireles, A. Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry / A. Meireles, E. Giaouris, M. Simões // *Food Research International* – 2016. – p. 82, 71–85. – doi:10.1016/j.foodres.2016.01.021.
452. MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). Korea Food Additives Code. – 2012. URL: [http://www.mfds.go.kr/fa/ebook/egongjeon\\_intro.jsp](http://www.mfds.go.kr/fa/ebook/egongjeon_intro.jsp).
453. Mikhienkova, A. Characteristic and stability of antimicrobial effect of silver nanoparticles in colloid solution s/ A. Mikhienkova, Yu. Mukha // *Environment Health* – 2011. – N 1. – P. 55.
454. Millanar-Marfa, J. M. J. Fouling Mitigation and Wastewater Treatment Enhancement through the Application of an Electro Moving Bed Membrane Bioreactor (eMB-MBR) / J. M. J. Millanar-Marfa [et al.] // *Membranes*. – 2018. – N 8. – P. 116.
455. Moabi, R.M. Biofilm control using chlorine-based disinfectants in model drinking water distribution systems / R.M. Moabi // *Water Science and Technology: Water Supply* – 2008. – 8(5). – P. 489–497. doi:10.2166/ws.2008.106.
456. Moabi, R. M. Biofilm Monitoring and Control Using Electrochemically Activated Water and Chlorine Dioxide / R.M. Moabi – University of Pretoria – 2006. – 252 p.
457. Moisan, M. Low-temperature sterilization using gas plasmas: a review of the experiments and an analysis of the inactivation mechanisms / M. Moisan [et al.] // *International Journal of Pharmaceutics*. – 2001. – N 26. – p. 1–21.
458. Moreira, J. M. The impact of material properties, nutrient load and shear stress on biofouling in food industries / J. M. Moreira // *Food and Bioproducts Processing*. – 2015. – V. 95. – P. 228–236.
459. Morones, J. R. The bactericidal effect of silver nanoparticles / J. R. Morones [et al.] // *Nanotechnology*. – 2005. – V. 16. – N 10. – P. 2346–2356.
460. Moschopoulou, G. Comparative Study of a Cell-Based and Electrochemical Biosensor for the Rapid Detection of 2,4,6-Trichloroanisole in Barrel Water Extracts / G. Moschopoulou [et al.] // *Beverages*. – 2019. – N 5. – doi: 10.3390/beverages5010001.

461. MubarakAli, D. Plant extract mediated synthesis of silver and gold nanoparticles and its antibacterial activity against clinically isolated pathogens / D. MubarakAli, N. Thajuddin, K. Jeganathan // *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. – 2011. – V. 85. – N. 2. – P. 360–365.
462. Mussatto, S. I. Brewers' spent grain: generation, characteristics and potential applications / S. I. Mussatto, G. Dragone, I. C. Roberto // *Journal of Cereal Science*. – 2006. – V. 43. – N. 1. – P. 1–14.
463. Nakayama, M. The hydrogen molecule as antioxidant therapy: Clinical application in hemodialysis and perspectives / M. Nakayama, S. Kabayama, S. Ito // *Renal Replacement Therapy* – 2016. – V. 2. – P. 23–29.
464. Nanowerk – online nanotechnology and nanoscience information portal. – 2015. – URL: <http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=1846.php>.
465. Neu, T.R. Innovative techniques, sensors, and approaches for imaging biofilms at different scales / T. R. Neu, J.R. Lawrence // *Trends in Microbiology* – 2015. – 23(4). – P.233–242. doi:10.1016/j.tim.2014.12.010.
466. Neu, T. R. Advanced imaging techniques for assessment of structure, composition and function in biofilm systems / T. R. Neu [et al.] // *FEMS Microbiology Ecology* – 2010. – 72(1). – p.1–21. doi:10.1111/j.1574–6941.2010.00837.x.
467. Niemira, B. Cold plasma inactivates *Salmonella* stanley and *Escherichia coli* O157:H7 inoculated on golden delicious apples / B. Niemira, J. Sites // *Journal of Food Protection*. – 2008. – N 71. – P. 1357–1365.
468. Niemira, B. A. *Escherichia coli* O157:H7 Biofilm Formation on Romaine Lettuce and Spinach Leaf Surfaces Reduces Efficacy of Irradiation and Sodium Hypochlorite Washes / B. A. Niemira, P. H. Cooke // *Journal of Food Science* – 2010. – N75(5). – M270–M277. doi:10.1111/j.1750–3841.2010.01650.x.
469. Niemira, B. Cold plasma rapid decontamination of food contact surfaces contaminated with *Salmonella* biofilms / B. Niemira, G. Boyd, J. Sites // *Journal of Food Science*. – 2014. – N79. – P. 917–922.
470. Nishikawa, R. Effect of acidic electrolyzed water on the viability of bacterial and fungal plant pathogens and on bacterial spot disease of tomato / R. Nishikawa [et al.] //

Electrolyzed Reduced Water Supplemented with Platinum Nanoparticles Suppresses Promotion of Two-stage Cell Transformation. *Cytotechnology*. – 2005. – V. 47. – N. 1–3, P. 97–105.

471. O'Donnell, M. J. Management of dental unit waterline biofilms in the 21st century / M. J. O'Donnell [et al.] // *Future Microbiology* – 2011. – 6(10):1209–1226.

472. Obasohan, E. E. Water pollution: A review of microbial quality and health concerns of water, sediment and fish in the aquatic ecosystem / E. E.Obasohan [et al.] // *African Journal of Biotechnology* – 2010. – 9(4). – P. 423–427.

473. O'Brien, S. J. Foodborne Diseases: Prevalence of Foodborne Diseases in Europe / S. J. O'Brien // *Encyclopedia of Food Safety*. – 2014. – N1. – P. 302–311.

474. Ohno, K. Molecular hydrogen as an emerging therapeutic medical gas for neurodegenerative and other diseases / K. Ohno [et al.] // *Oxid Med Cell Longev* – 2012. – V. 35. – P. 31–42.

475. Ohsawa, I. Hydrogen acts as a therapeutic antioxidant by selectively reducing cytotoxic oxygen radicals / I. Ohsawa [et al.] // *Nat Med* – 2007. – N10. – P.1038–1577.

476. OIV (International Organisation of Vine and Wine). COMMENDIUM OF INTERNATIONAL METHODS OF ANALYSIS–OIV. Maximum acceptable limits of various substances contained in wine OIV–MA–C1–01: R2011. – 2011. – URL: <http://www.oiv.int/oiv/info/enmethodesinternationalesvin?lang=en>.

477. Olaimat, A. N. Factors influencing the microbial safety of fresh produce: a review / A. N.Olaimat, R. A. Holley // *Food Microbiol* – 2012. – 32 (1.). – P. 1–19.

478. Olayiwola, J.O. Microbiological Quality Assessment and Antibigram of the Bacteria isolated from fish feed, Oyo, South-west Nigeria / J. O. Olayiwola, A. A. Adedokun // *Journal of Animal science Advances* –2015. – 5(3). – P. 1218–1224.

479. Ölmez, H. Effects of different sanitizing treatments on biofilms and attachment of *Escherichia coli* and *Listeria monocytogenes* on green leaf lettuce / H.Ölmez, S. D. Temur // *LWT – Food Science and Technology* – 2010. – 43(6). – P. 964–970.

480. Onishi, R. Effect of Weak Electrolysed Water on the Properties of Bread / R. Onishi, Y. Hara, E. Arai // *Food Sci. Technol. Res.* – 1999. – 5(4). – P.388–392.

481. Onwulata, C. I. Properties of Whey Protein Isolates Extruded under Acidic and Alkaline Conditions *Journal of Dairy Science* / C. I. Onwulata [et al.] // V. 89, Iss. 1 – 2006. – P.71–81. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(06\)72070-7](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(06)72070-7).
482. Oubrim, N. Assessment of Helminths Health Risk Associated with reuse of Raw and Treated Wastewater of the Settat City / N.Oubrim [et al.] // *Resources and Environment* – 2012. – 2(5). – P.193–201. – doi:10.5923/j.re.20120205.03.
483. Ozaki, M. A study for biofilm removing and antimicrobial effects by microbubbled tap water and other functional water, electrolyzed hypochlorite water and ozonated water / M. Ozaki [et al.] // *Dental Materials Journal* – 2012. – 31(4). – P. 662–668.
484. Panacek, A. Antifungal activity of silver nanoparticles against *Candida* spp / A. Panacek [et al.] // *Biomaterials*. – 2009. – V. 30. – N 31. – P. 6333–6340.
485. Panacek, A. Acute and chronic toxicity effects of silver nanoparticles (NPs) on *Drosophila melanogaster* / A. Panacek, R. Pucek, D. Safarova // *Environmental science & technology*. – 2011. – V. 45. – N 11. – P. 4974–4979.
486. Panteloglou, A. G. Effect of high–hydrostatic pressure and pH on the rheological properties of gum arabic / A. G. Panteloglou, A. E. Bell, F. Ma // *Food chemistry*. – 2010. – V. 122. – N 4. – P. 972–979.
487. Park, E. J. Effect of Electrolyzed Water for Reduction of Foodborne Pathogens on Lettuce and Spinach / E. J. Park, E. Alexander, G.A. Taylor, R. Costa, D. H. Kang // *Journal of Food Science* – 2008.– V.73.– N 6.– P. 268–272.
488. Park, H. Effectiveness of electrolyzed water as a sanitizer for treating different surfaces / H. Park [et al.] // *Journal of Food Protection*. – 2002. – N 65. – P. 1276–1280.
489. Pavlovich, M. Antimicrobial synergy between ambient–gas plasma and UVA treatment of aqueous solution / M. Pavlovich [et al.] // *Plasma Processes and Polymers*. – 2013. – N 10. – P. 1051–60.
490. Pelat, C. Hand hygiene, cohorting, or antibiotic restriction to control outbreaks of multidrug–resistant *Enterobacteriaceae* / C. Pelat [et al.] // *Infection control & hospital epidemiology*. – 2016. – V. 37. – N. 3. – P. 272–280.
491. Percival, S. L. Antiseptics for treating infected wounds: Efficacy on biofilms and effect of pH / S. L. Percival [et al.] // *Critical Reviews in Microbiology* – 2014. – P.1-17.

492. Perni, S. Cold atmospheric plasma decontamination of the pericarps of fruit / S. Perni [et al.] // *Journal of Food Protection*. – 2008. – N 71. – P. 302–308.
493. Perron, G.G. Fighting microbial drug resistance: a primer on the role of evolutionary biology in public health / G. G. Perron [et al.] // *Evolutionary Applications* – 2011. – 8(3). – 211–222. doi:10.1111/eva.12254.
494. Peterson, S. B. Different Methods for Culturing Biofilms In Vitro / S. B. Peterson [et al.] // *Biofilm Infections* – P. 251–266. – doi:10.1007/978-1-4419-6084-9\_15.
495. Petica, A. Colloidal silver solutions with antimicrobial properties / S. Gavriiliu [et al.] // *Materials Science and Engineering: B*. – 2008. – V. 152. – N 1. – P. 22–27.
496. Phuoc, T. X. Synthesis of Ag–deionized water nanofluids using multi–beam laser ablation in liquids / T. X. Phuoc, Y. Soong, M. K. Chyu // *Optics and lasers in engineering*. – 2007. – V. 45. – N 12. – P. 1099–1106.
497. Piffaretti, J. C. Genetic characterization of clones of the bacterium *Listeria monocytogenes* causing epidemic disease / J. C. Piffaretti [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences USA*. – 1989. – N 86. – P. 3818–3822.
498. Podkopaev, D. O. Comparative evaluation of antimicrobial activity of silver nanoparticles / D. O. Podkopaev [et al.] // *Nanotechnologies in Russia* – 2014. – V. 9. – N. 1–2. – P. 93. doi:10.1134/S1995078014010121.
499. Pogorelov, A. G. Scanning Electron Microscopy of Biofilms Adherent to the Inner Catheter Surface / A. G. Pogorelov [et al.] // *Bulletin of Experimental Biology and Medicine* – 2014. – 157(5). – 711–714. – doi:10.1007/s10517-014-2648-0.
500. Pogorelov, A. G. Electrochemically Reduced Water: Modification of the Incubation Medium and Oxidative Activity / A. G. Pogorelov [et al.] – 2018. – V. 63. – N 1. – P. 21–27.
501. Pontrelli, G. Epidemiological and virological characterization of a large community–wide outbreak of hepatitis A in southern Italy / G. Pontrelli [et al.] // *Epidemiology and Infection*. – 2008. – N136. – P. 1027–1034.
502. Popov, K. I. Food Nanotechnologies / K.I. Popov [et al.] // *Russian Journal of General Chemistry*. – 2010. – V. 80. – N 3. – P. 630–642.

503. Pray, L. Nanotechnology in food products: Workshop Summary / L. Pray, A. Yaktine. – Washington, DC : The National Academies Press, 2009. – 136 p.
504. Priest, F. G. Brewing microbiology / F. G. Priest, I. Campbell – UK : Kluwer Academic // Plenum Publ., 2003. – 399 p.
505. Pugachev, I. O. Preserving the Quality and Extending the Shelf Life of Fresh Fish / I. O. Pugachev, E. T. Solovatova, S. Yu. Volozhaninova // Storage and Processing of Farm Products – 2014. – (1). – P. 51–55.
506. Pyrgiotakis, G. A chemical free, nanotechnology–based method for airborne bacterial inactivation using engineered water nanostructures / G. Pyrgiotakis [et al.] // Environ. Sci.: Nano – 2014. – 1(1). – P. 15–26. – doi:10.1039/c3en00007a.
507. Quintavalla, S. Antimicrobial food packaging in meat industry / S. Quintavalla, L. Vicini // Meat Science. – 2002. – N 62. – P. 373–380.
508. Radzig, M. A. Antibacterial effects of silver nanoparticles on gram–negative bacteria: Influence on the growth and biofilms formation, mechanisms of action / M. A. Radzig // Colloids and Surfaces B: Biointerfaces. – 2013. – V. 102. – P. 300–306.
509. Raffi, M. Antibacterial characterization of silver nanoparticles against E. coli ATCC–15224 / M. Raffi [et al.] // Journal of Materials Science and Technology – 2008. – V. 24. – N. 2. – P. 192–196.
510. Ranjan, S. Nanoscience and nanotechnologies in food industries: opportunities and research trends / S. Ranjan [et al.] // Journal of Nanoparticle Research – 2014. – V. 16. – N 6. – P. 2464.
511. Rashidi, L. The applications of nanotechnology in food industry / L. Rashidi, K. Khosravi–Darani // Critical reviews in food science and nutrition – 2011. – V. 51. – N8. – P. 723. – doi: 10.1080/10408391003785417.
512. Raudales, R. E. Control of waterborne microbes in irrigation: A review / R.E. Raudales [et al.] // Agricultural Water Management – 2014. – 143, 9–28.
513. Reicha, F. M. Preparation of silver nanoparticles in the presence of chitosan by electrochemical method / F. M. Reicha, A. Sarhan, M. I. Abdel–Hamid // Carbohydrate polymers. – 2012. – V. 89. – N 1. – P. 236–244.



514. Rendueles, O. Mechanisms of Competition in Biofilm Communities / O. Rendueles, J.-M. Ghigo // *Microbiology Spectrum* – 2015. – 3(3). – doi:10.1128/microbiolspec.mb-0009-2014.
515. Rickard, A. H. Shear Rate Moderates Community Diversity in Freshwater Biofilms / A.H. Rickard [et al.] // *Applied and Environmental Microbiology* – 2004. – 70(12). – 7426–7435. – doi:10.1128/aem.70.12.7426-7435.
516. Ridwan, R. D. The Ability of Electrolyzed Reduced Water to Act as an Antioxidant and Anti-Inflammatory Agent in Chronic Periodontitis Wistar Rats (*Rattus norvegicus*) / R. D. Ridwan // *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi* – 2019 – V. 4 – P. 1–6.
517. Robin, D. The antimicrobial mechanism of electrochemically activated water against *Pseudomonas aeruginosa* and *Escherichia coli* determined by SDS-PAGE analysis / D. Robin, T. E. Cloete [et al.] // *Journal of Applied Microbiology* – 2004. – N 107(2). – P. 379–384. – doi:10.1111/j.1365-2672.2009.04233.x.
518. Robinson, G. M. Evaluation of the efficacy of electrochemically activated solutions against nosocomial pathogens and bacterial endospores / G. M. Robinson [et al.] // *Letters in Applied Microbiology* – 2014. – 50(3) – P. 289–294.
519. Rodriguez-Garcia, O. Reduction of *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* O157:H7, and *Listeria monocytogenes* with Electrolyzed Oxidizing Water on Inoculated Hass Avocados (*Persea americana* var. Hass) / O. Rodriguez-Garcia [et al.] // *Journal of Food Protection* – 2011. – 74(9). – P.1552–1557. doi:10.4315/0362-028x.jfp-11-047.
520. Roduner, E. *Nanosopic Materials: size-dependent phenomena* / E. Roduner. – Cambridge : RCS Publishing, 2006. – 285 p.
521. Sadoon, A. A. Silver ions caused faster diffusive dynamics of histone-like nucleoid-structuring proteins in live bacteria / A. A. Sadoon [et al.] // *Appl Environ Microbiol.* – 2020. – 86:e02479-19. <https://doi.org/10.1128/AEM.02479-19>.
522. Saiyed, S.M. Aluminium content of some foods and food products in the USA, with aluminium food additives / S. M. Saiyed, R. A. Yokel // *Food additives and contaminants.* – 2005. – . 22. – N. 3. – P. 234–244.

523. Sastry, K. R. Nanotechnology in food processing sector an assessment of emerging trends / K. R. Sastry, A. Shrivastava, N. H. Rao // *J Food Sci Technol* – 2013. – V. 50. – N 5. – P. 831. doi:10.1007/s13197-012-0873-y.
524. Sawant, S. N. Antibiofilm Properties of Silver and Gold Incorporated PU, PCLm, PC and PMMA Nanocomposites under Two Shear Conditions / S. N. Sawant, V. Selvaraj, V. Prabhawathi, M. Doble // *PLoS ONE* – 2013. – 8(5). – e63311. doi:10.1371/journal.pone.0063311.
525. Scallan, E. Hoekstra Foodborne illness acquired in the United States – Major pathogens / E. Scallan [et al.] // *Emerging Infectious Diseases*. – 2011. – N17. – p. 7–15.
526. Schlech, W. F. Epidemic listeriosis evidence for transmission by food / W. F. Schlech [et al.] // *New England Journal of Medicine*. – 1983. – N308. – c. 203–206.
527. Scholtz, V. The microbicidal effect of low-temperature plasma generated by corona discharge: comparison of various microorganisms on an agar surface or in aqueous suspension / V. Scholtz, J. Julak, V. Kriha // *Plasma Processes and Polymers*. – 2010. – N7. – P. 237–243.
528. Scholtz, V. The influence of parameters of stabilized corona discharge on its microbicidal effect / V. Scholtz [et al.] // *Acta Physica Polonica A*. – 2011. – N 119. – P. 803–806.
529. Schreurs, W. J. Effect of silver ions on transport and retention of phosphate by *Escherichia coli* / W. J. Schreurs, H. Rosenberg // *Journal of Bacteriology*. – 1982. – V. 152. – N. 1. – P. 7–13.
530. Schwering, M. Multi-species biofilms defined from drinking water microorganisms provide increased protection against chlorine disinfection / M. Schwering [et al.] // *Biofouling* – 2013. – 29(8). – P.917–928. doi:10.1080/08927014.2013.816298.
531. Sharma, H. S. Influence of engineered nanoparticles from metals on the blood–brain barrier permeability, cerebral blood flow, brain edema and neurotoxicity. An experimental study in the rat and mice using biochemical and morphological approaches / H.S. Sharma [et al.] // *Journal of nanoscience and nanotechnology*. – 2009. – V. 9. – N 8. – P. 5055–5072.

532. Shen, C. Generation of chlorine by-products in simulated wash water / C. Shen [et al.] // *Food Chemistry* – 2016. – P.190, 97–102. doi:10.1016/j.foodchem.2015.04.146.
533. Shin, D. W. Effects of alkaline-reduced drinking water on irritable bowel syndrome with diarrhea: a randomized double-blind, placebo-controlled pilot study / D. W. Shin [et al.] // *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. – 2018. – V. 13. – P. 8–16.
534. Shirahata, S. Advanced research on the health benefit of reduced water / S. Shirahata, T. Hamasaki, K. Teruya // *Trends in Food Science & Technology*. – 2012. – p.23, 124–131.
535. Shirahata, S. Telomere shortening in cancer cells by electrolyzed-reduced water / S. Shirahata [et al.] // *Animal cell technology: Challenges for the 21st century*. – 1999. – P. 355–359.
536. Shrivastava, S. Characterization of enhanced antibacterial effects of novel silver nanoparticles / S. Shrivastava [et al.] // *Nanotechnology* – 2007. doi: 10.1088/0957-4484/18/22/225103.
537. Signur, A. Pareto set estimation with guaranteed probability of correct selection / A. Signur, S. L. Judi // *European Journal of Operational Research*. – 2020. doi.org/10.1016/j.ejor.2020.10.021.
538. Simchi, A. Kinetics and mechanisms of nanoparticle formation and growth in vapor phase condensation process / A. Simchi [et al.] // *Materials & design*. – 2007. – V. 28. – N 3. – P. 850–856.
539. Simões, M. The effect of hydrodynamic conditions on the phenotype of *Pseudomonas fluorescens* biofilms / M. Simões [et al.] // *Biofouling* – 2007. – 23(4). – P.249–258. doi:10.1080/08927010701368476.
540. Singh, P. K. Nanotechnology: a future tool to improve quality and safety in meat industry / P. K. Singh, G. Jairath, S. S. Ahlawat // *J Food Sci Technol* – 2016. – V. 53. – N 4. – P. 1739. doi:10.1007/s13197-015-2090-y.
541. Sintubin, L. The antibacterial activity of biogenic silver and its mode of action / L. Sintubin [et al.] // *Appl. Microbiol. Biotechnol* – 2011. – V.91. – N1. – P.153–162..

542. Sockett, P. Foodborne Diseases: Prevalence of Foodborne Diseases in North America / P. Sockett // *Encyclopedia of Food Safety*. – 2014. – N 1. – P. 276–286.
543. Son, H.-J. Combined Treatment of Fumaric Acid with Mild Heat to Inactivate Microorganisms on Fresh Spinach during Storage / H.-J. Son [et al.] // *Journal of Applied Biological Chemistry* – 2016. – 59(1). – P.69–74. doi:10.3839/jabc.2016.013.
544. Sondi, I. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on E. coli as a model for Gram-negative bacteria / I. Sondi, B. Salopek-Sondi // *Journal of colloid and interface science*. – 2004. – V. 275. – N. 1. – P. 177–182.
545. Song, H. Evaluation of atmospheric pressure plasma to improve the safety of sliced cheese and ham inoculated by 3–strain cocktail *Listeria monocytogenes* / H. Song, B. Kim, J. Choe, et al. // *Food Microbiology*. – 2009. – N26. – P. 432–436.
546. Stanić, V. Synthesis, characterization and antimicrobial activity of copper and zinc–doped hydroxyapatite nanopowders / V. Stanić [et al.] // *Applied Surface Science*. – 2010. – V. 256. – N 20. – P. 6083–6089.
547. Stamatis, N. Effect of modified atmosphere and vacuum packaging on microbial, chemical and sensory quality indicators of fresh, filleted *Sardina pilchardus* at 3 C / N. Stamatis, J. S. Arkoudeios // *Journal of the Science of Food and Agriculture* – 2007. – 87(6). – P.1164–1171.
548. Steenackers, H. P. Identification and characterization of 4–[4–(3–phenyl–2–propen–1–yl)–1–piperazinyl]–5H–pyrimido[5,4–b]indole derivatives as *Salmonella* biofilm inhibitors / H. P. Steenackers [et al.] // *FEMS Immunology & Medical Microbiology* 2012. – 65(2). – P.390–394. doi:10.1111/j.1574–695x.2012.00973.x.
549. Stewart–Wade, S. M. Plant pathogens in recycled irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: their detection and management / S. M. Stewart–Wade // *Irrigation Science* –2011. – 29(4). – P. 267–297. doi:10.1007/s00271–011–0285–1.
550. Stoica, M. Sustainable Sanitation in the Food Industry / M. Stoica // *Sustainable Food Systems from Agriculture to Industry*. – Academic Press. – 2018. – p. 309–339.
551. Stopforth, J.D. Effect of Acidified Sodium Chlorite, Chlorine, and Acidic Electrolyzed Water on *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella*, and *Listeria monocytogenes* In-

- oculated onto Leafy Greens / J.D. Stopforth [et al.] // *Journal of Food Protection*. – 2008. – V. 71. – N 3. – P. 625–628.
552. Sun, Y. Inactivation of *Candida* biofilms by non-thermal plasma and its enhancement for fungistatic effect of antifungal drugs / Y. Sun [et al.] // *PLoS One*. – 2012. – N7. – P. 610–617.
553. Sung, J. H. Subchronic inhalation toxicity of silver nanoparticles / J.H. Sung [et al.] // *Toxicological Sciences*. – 2009. – V. 108. – N 2. – P. 452–461.
554. Surendhiran, D. Silver–magnetic nanocomposites for water purification / D. Surendhiran [et al.] // *Environmental Chemistry Letters*. – 2017. – V. 15. – N. 3. – P. 367–386.
555. 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. – V. 5. – N 1. – P. 100–107.
556. 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. – 7(2). – P.43–52.
557. Swan, J. S. Elimination of biofilm and microbial contamination reservoirs in hospital washbasin U–bends by automated cleaning and disinfection with electrochemically activated solutions / J.S. Swan [et al.] // *Journal of Hospital Infection* 2016. – 94(2). – P. 169–174. doi:10.1016/j.jhin.2016.07.007.
558. Takenouchi, T. Rinsing effect of alkaline electrolyzed water on nickel surfaces / T. Takenouchi, S. I. Wakabayashi // *Journal of Applied Electrochemistry* – 2006. – V. 36. – N 10. – P. 1127–1132.
559. Tamura, Y. Influence of air–powder polishing on bond strength and surface–free energy of universal adhesive systems / Y. Tamura, T. Takamizawa, Y. Shimamura // *Dental materials journal*. – 2017. – V. 36. – N. 6. – P. 762–769.
560. Tanaka, Y. Daily ingestion of alkaline electrolyzed water containing hydrogen influences human health, including gastrointestinal symptoms / Y. Tanaka [et al.] // *Medical gas research*. – 2018. – V. 8. – P. 160–167.

561. Tarafdar, J.C. Nanotechnology: Interdisciplinary science of applications / J.C. Tarafdar [et al.] // *Afr. J. Biotechnol* – 2013. – V. 12 – N 3. – P. 219.
562. Teodósio, J. S. The influence of nonconjugative *Escherichia coli* plasmids on biofilm formation and resistance / J.S. Teodósio, M. Simões, F.J. Mergulhão // *Journal of Applied Microbiology* – 2012. – 113(2). – P.373–382.
563. Tewari, A. *Bacillus cereus* food poisoning: international and Indian perspective / A. Tewari, S. Abdullah // *J. Food Sci. Technol* – 2015. – V. 52. – N5. – P. 2500.
564. Thorn, R. Assessing the antimicrobial potential of aerosolised electrochemically activated solutions (ECAS) for reducing the microbial bio-burden on fresh food produce held under cooled or cold storage conditions / R. Thorn, J. Pendred, D. M. Reynolds // *Food Microbiology* 2017. – p.68, 41–50. doi: 10.1016/j.fm.2017.06.018.
565. Thung, I. Review article: the global emergence of *Helicobacter pylori* antibiotic resistance / I. Thung [et al.] // *Alimentary Pharmacology & Therapeutics* – 2015. – 43(4). – P. 514–533. doi:10.1111/apt.13497.
566. Tolaymat, T. M. An evidence-based environmental perspective of manufactured silver nanoparticle in syntheses and applications: a systematic review and critical appraisal of peer-reviewed scientific papers / T.M. Tolaymat [et al.] // *Science of the Total Environment*. – 2010. – V. 408. – N 5. – P. 999–1006.
567. Tolker-Nielsen, T. Methods for Studying Biofilm Formation: Flow Cells and Confocal Laser Scanning Microscopy / T. Tolker-Nielsen, C. Sternberg // *Pseudomonas Methods and Protocols* – 2014. – P. 615–629. doi:10.1007/978-1-4939-0473-0\_47.
568. Tolstorebrov, I. Effect of low and ultra-low temperature applications during freezing and frozen storage on quality parameters for fish / I. Tolstorebrov, T.M. Eikevik, M. Bantle // *International Journal of Refrigeration* – 2016. – P.63, 37–47.
569. Tran, P.A. Low cytotoxic trace element selenium nanoparticles and their differential antimicrobial properties against *S. aureus* and *E. coli* / P. A. Tran, E.C. Reynolds, N. Pantarat // *Nanotechnology*. – 2015. – V. 27. – N. 4. – P. 45–51.
570. Tsuji, T. Laser-induced silver nanocrystal formation in polyvinylpyrrolidone solutions / T. Tsuji [et al.] // *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*. – 2009. – V. 206. – N. 2. – P. 134–139.

571. UK Patent 2 253 860 B, 12.03.1991. The electrochemical treatment of water and a device for electrochemically treating water / Bakhir V.M., Zadorozhny Y.G.
572. USA Patent 5 628 888, 1997. Apparatus for Electrochemical Treatment of Water and/or Water Solutions / Bakhir V.M., Zadorozhny J.G.
573. Van Kreijl, C. F. Our food, our health — healthy diet and safe food in the Netherlands / C. F. Van Kreijl [et al.] // National Institute for Public Health and the Environment, Bilthoven. – 2006.
574. Vandervoort, K. Plasma interactions with bacterial biofilms as visualized through atomic force microscopy / K. Vandervoort [et al.] // IEEE Transactions on Plasma Sciences. – 2008. – N 36. – P. 1296–1297.
575. Venkitasamy, C. Drying and decontamination of raw pistachios with sequential infrared drying, tempering and hot air drying / C.Venkitasamy, M.T. Brandl, B. Wang // International journal of food microbiology. – 2017. – V. 246. – P. 85–91.
576. Ventola, C. L. Antibiotic resistance: turning back the tide / C. L. Ventola, C. Bond // International Journal of Pharmacy Practice. – 2015. – 23(5). – P.307–308.
577. Verran, J. Assessment of organic materials and microbial components on hygienic surfaces / J. Verran, K. A. Whitehead // Food and Bioproducts Processing. – 2016. – V. 84. – N. 4. – P. 260–264.
578. Viner, R. M. Efficacy and safety of anti-obesity drugs in children and adolescents: systematic review and metaanalysis / R. M. Viner [et al.] // *Obes. Rev.* – 2010. – V. 11. – P. 593–602.
579. Wakshlak, R. K. Antibacterial activity of silver-killed bacteria: the "zombies" effect / R. K. Wakshlak [et al.] // *Scientific reports.* – 2015. – V. 5. – P. 95–105.
580. Wang, W. Preparation and characterization of silver nanoparticles at high concentrations / W. Wang, B. Gu // *ACS symposium series.* – Oxford University Press, 2004. – V. 878. – P. 1–14.
581. Wei, Y. Synthesis of stable, low-dispersity copper nanoparticles and nanorods and their antifungal and catalytic properties / Y. Wei [et al.] // *The Journal of Physical Chemistry C.* – 2010. – V. 114. – N 37. – P. 15612–15616.

582. Weir, A. Titanium dioxide nanoparticles in food and personal care products / A. Weir [et al.] // EST. – 2012. – V. 46. – N 4. – P. 2242–2250.
583. Wheelis, M. Principles of Modern Microbiology / M. Wheelis // Davis. – 2008.
584. Wood, J. D. Population dynamics of *Escherichia coli* inoculated by irrigation into the phyllosphere of spinach grown under commercial production conditions / J. D. Wood [et al.] // International Journal of Food Microbiology – 2010. – 143. – P.198–204.
585. WHO (World Health Organization). Silver in Drinking–water Background document for development of WHO Guidelines for Drinking–water Quality, 2003. – URL: [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/silver.pdf?ua=1](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/silver.pdf?ua=1).
586. WHO (World Health Organization). Five keys to safer food, 2007. –URL: <https://www.who.int/foodsafety/publications>.
587. Yang, W. Food storage material silver nanoparticles interfere with DNA replication fidelity and bind with DNA / W. Yang, C. Shen // Nanotechnology. – 2009. – V. 20. – N. 8. – P. 85–102.
588. Yogesha, B. S. An optical tweezer–based study of antimicrobial activity of silver nanoparticles / B.S. Yogesha, M.K. Rabinal, S. Ananthamurthy // Bull Mater Sci – 2012. – N 35. – P.529–532.
589. Yoon, K.Y. Antimicrobial characteristics of silver aerosol nanoparticles against *Bacillus subtilis* bioaerosols / K. Y. Yoon, J. H. Byeon, J.H. Park // Environmental Engineering Science. – 2008. – V. 25. – N. 2. – P. 289–294.
590. Yoshida, K. Application of electrolyzed water for food industry in Japan / K. Yoshida, N. Achiwa, M. Katayose // Institute of Food Technologists. Annual Meeting, Las Vegas. – 2004. – P. 194.
591. Yoshida, N. Molecular determinants of aspirin–induced neutrophil adherence to endothelial cells / N. Yoshida [et al.] // Gastroenterology. – 1993. – V. 105. – P. 715–724.
592. Zaman, S.B. A Review on Antibiotic Resistance: Alarm Bells are Ringing / S.B. Zaman [et al.] // Cureus. – 2017. doi:10.7759/cureus.1403.
593. Zilver, N. Development of a standardized antibiofilm test / N. Zilver [et al.] // Methods in Enzymology. – 2001. – P. 363–376. doi:10.41016/s0076–6879(01)37025–8.



594. Zhang, H. Evaluation of the disinfectant performance of silver nanoparticles in different water chemistry conditions / H. Zhang [et al.] // Journal of Environmental Engineering. – 2011. – V. 138. – N 1. – P. 58–66.

595. Zhang, J. Development of Portable Flow-Through Electrochemical Sanitizing Unit to Generate Near Neutral Electrolyzed Water / J. Zhang [et al.] // Journal of Food Science. – 2018. – 83(3). – P. 780–790.

596. Zhao, X. Biofilm formation and control strategies of foodborne pathogens: food safety perspectives / X. Zhao [et al.] // RSC Advances. – 2017. – N. 58. – P. 366–368.

597. Zhao, Y. Free chlorine loss during spraying of membraneless acidic electrolyzed water and its antimicrobial effect on airborne bacteria from poultry house / Y. Zhao [et al.] // Annals of Agricultural and Environmental Medicine. – 2014. – V. 21. – P. 249–255.

598. Zhi-hao Effect of alkaline electrolyzed water on physicochemical and structural properties of apricot protein isolate / Zhi-hao [et al.] // FSB. – 2018.

599. Zhou, G. H. Preservation technologies for fresh meat – A review / G. H. Zhou [et al.] // Meat Science. – 2010. – N 86. – P. 119–128.

600. Zhu, H. Immobilization of glycolate oxidase from *Medicago falcata* on magnetic nanoparticles for application in biosynthesis of glyoxylic acid / H. Zhu [et al.] // Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic. – 2009. V. 61. – N 3. – P. 174–179.

601. 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.

*(Оригинальная версия: Лабутина, Н. В. Разработка, исследование и анализ эффективности использования наноматериалов с биоцидными свойствами в хлебопекарной промышленности / Н. В. Лабутина (д.т.н., проф.), О. А. Суворов (к.т.н.), Д. А. Максимов (к.т.н.), 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).*

## Приложение А

## Результаты интеллектуальной деятельности (листы описания)

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 584 603** (13) **C1**

(51) МПК

C12N 1/16 (2006.01)

C12N 1/38 (2006.01)

C12N 1/04 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015115461/10, 24.04.2015

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
24.04.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.04.2015

(45) Опубликовано: 20.05.2016 Бюл. № 14

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2539792 C2, 27.01.2015. US 6326185  
B1, 04.12.2001. RU 2104301 C1, 10.02.1998.  
IZQUIERO-CANAS P.M. и др. Colloidal silver  
complex as an alternative to sulphur dioxide in  
winemaking, Food Control, 2012, vol. 23, P.73-81.

Адрес для переписки:

125080, Москва, Волоколамское ш., 11, ФГБОУ  
ВПО "Московский государственный  
университет пищевых производств", отдел  
научных исследований и патентно-лицензионной  
работы

(72) Автор(ы):

Балаздин Глеб Владленович (RU),  
Ермолова Галина Алексеевна (RU),  
Шабурова Любовь Николаевна (RU),  
Суворов Олег Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный университет  
пищевых производств" Министерства  
образования и науки Российской Федерации  
(RU)

## (54) СПОСОБ АНТИБАКТЕРИАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДРОЖЖЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к способу контроля бактериального заражения (микробной контаминации) в процессе дрожжегенерации и хранения дрожжей при производстве спирта, пива, кваса, хлебобулочных изделий, хлебопекарных и кормовых дрожжей. Способ предусматривает на стадии культивирования *S. cerevisiae* внесение в суспензию коллоидного раствора наночастиц серебра, стабилизированных гуараном до концентрации частиц в среде 0,001-0,002 г/дм<sup>3</sup>. После накопления достаточного количества биомассы дрожжи поддают в бродильное отделение, где происходит сбраживание крахмалоудержающего сырья. При необходимости

очистки инфицированных дрожжей для повторного использования в дрожжевую суспензию вносят препарат наносеребра до концентрации частиц в среде 0,003-0,004 г/дм<sup>3</sup>. Причем обработку проводят в течение 3-6 часов при температуре 5-15°C, а обработанные дрожжи можно повторно вводить в технологический процесс. Изобретение позволяет предотвратить развитие бактериальных инфекций дрожжей *S. cerevisiae* в процессе культивирования и сбраживания сырья при получении продукции на основе этилового спирта. 2 з.п. ф-лы, 3 табл., 2 пр.

RU 2 584 603 C 1

RU 2 584 603 C 1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **163 496** (13) **U1**(51) МПК  
C12M 1/42 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015154043/10, 16.12.2015

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
16.12.2015

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 16.12.2015

(45) Опубликовано: 20.07.2016 Бюл. № 20

Адрес для переписки:

125080, Москва, Волоколамское ш., 11, ФГБОУ  
ВПО "Московский государственный  
университет пищевых производств", отдел  
научных исследований и патентно-лицензионной  
работы

(72) Автор(ы):

Кузнецов Александр Львович (RU),  
Будаева Валентина Александровна (RU),  
Суворов Олег Александрович (RU),  
Никифорова Лидия Осиповна (RU)

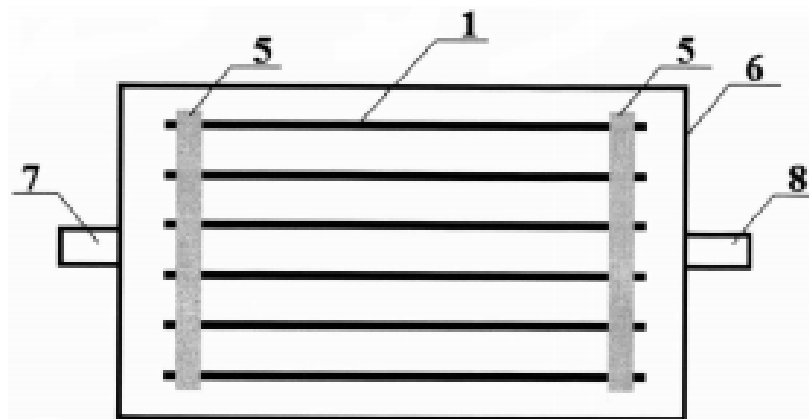
(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный университет  
пищевых производств" (RU)

## (54) ПОГРУЖНОЙ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКИЙ АКТИВАТОР

## (57) Формула полезной модели

Электростатический активатор, включающий блок размещенных параллельно друг другу разноименно заряженных металлических пластин, индивидуально герметично упакованных в не проводящий ток полимер толщиной 150 мкм, при этом края полимера выступают за пределы металлических пластин на 10-20 мм, при этом в полимере сделаны технологические отверстия, через которые пластины не проводящими ток стержнями скреплены между собой, причем блок помещен и закреплен внутри резервуара, при этом пластины должны быть параллельны направлению движения водных растворов и входного и отводящего трубопроводов в резервуаре.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**170 224**<sup>(13)</sup> **U1**(51) МПК  
A23L 3/005 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(12) **ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ**

(21)(22) Заявка: 2016149425, 15.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
15.12.2016Дата регистрации:  
18.04.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.12.2016

(45) Опубликовано: 18.04.2017 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

125080, Москва, Волоколамское ш., 11, ФГБОУ  
ВО "Московский государственный университет  
пищевых производств", Отдел научных  
исследований и патентно-лицензионной работы

(72) Автор(ы):

Суворов Олег Александрович (RU),  
Лабутина Наталья Васильевна (RU),  
Полякова Дарья Игоревна (RU),  
Будасва Валентина Александровна (RU),  
Кузнецов Александр Львович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Московский государственный  
университет пищевых производств" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: RU 2446693 C1, 10.04.2012. RU  
2157649 C2, 20.10.2000. KZ 24696 A4,  
17.10.2011. EP 423827 B1, 05.07.1995.

(54) Устройство для обработки в электростатическом поле жидких пищевых продуктов и водных растворов

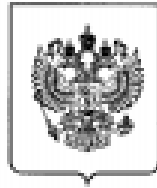
## (57) Формула полезной модели

Устройство для обработки в электростатическом поле жидких пищевых продуктов и водных растворов, включающее подающие патрубки-форсунки, установленные под углом 1-5°, но параллельно расположенные относительно друг друга, корпус устройства прямоугольной формы и трапециевидным дном, внутри которого установлены разноименно заряженные пластины-электроды, причем внутри корпуса, в верхней части установлен перевернутый желоб, причем соотношение диаметра желоба к расстоянию между пластинами-электродами 1:3, в нижней части корпуса устройства установлены отводящие патрубки.

RU 170224 U1

RU 170224 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) RU (11)

173 521<sup>(13)</sup> U1

(51) МПК  
B03C 3/08 (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016149424, 15.12.2016

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
15.12.2016

Дата регистрации:  
30.08.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 15.12.2016

(45) Опубликовано: 30.08.2017 Бюл. № 25

Адрес для переписки:

125080, Москва, Вольколамское ш., 11, ФГБОУ  
ВПО "Московский государственный  
университет пищевых производств", Отдел  
научных исследований и патентно-лицензионной  
работы

(72) Автор(ы):

Суворов Олег Александрович (RU),  
Лябуткина Наталья Васильевна (RU),  
Полякова Дарья Игоревна (RU),  
Будяева Валентина Александровна (RU),  
Кузнецов Александр Львович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
"Московский государственный университет  
пищевых производств" (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU61595U1, 10.03.2007,  
RU2491109C1, 27.08.2013, WO2005082460A1,  
09.09.2005.

(54) Устройство для обеспечения безопасности полуфабрикатов и готовых блюд

(57) Реферат:

Полезная модель относится к комплексным техническим и технологическим решениям для продления сроков годности, повышения эффективности использования, качества и безопасности продовольственного сырья, полуфабрикатов и готовых блюд на предприятиях пищевой промышленности.

Устройство для обеспечения безопасности полуфабрикатов и готовых блюд, включающее воздушный компрессор, подводный и отводный

трубопроводы, ячейку, состоящую из корпуса ячейки, в котором установлены разнонапряженные пластины на расстоянии 15-25 мм, подключенные к источнику высокого напряжения, в нижней части корпуса ячейки установлена ребристая намагниченная пластина, трубопровод, контейнер, в нижней части которого установлена сетчатая решетка, на которую помещается пищевой продукт, на рисунке не показан, гидрозатвор.

RU 1 7 3 5 2 1 U 1

RU 1 7 3 5 2 1 U 1



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) RU (11)

178 083<sup>(13)</sup> U1

(51) МПК  
 C12Q 1/24 (2006.01)  
 C12N 11/14 (2006.01)  
 C12M 3/04 (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
 C12Q 1/24 (2006.01); C12N 11/14 (2006.01); C12M 3/04 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017130119, 25.08.2017

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
25.08.2017

Дата регистрации:  
22.03.2018

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 25.08.2017

(45) Опубликовано: 22.03.2018 Бюл. № 9

Адрес для переписки:  
 142290, Московская обл., г. Пушкино, ул.  
 Институтская, 3, ФГБУН Институт  
 теоретической и экспериментальной биофизики  
 Российской академии наук (ИТЭБ РАН)

(72) Автор(ы):  
 Бахир Витольд Михайлович (RU),  
 Козлов Игорь Владимирович (RU),  
 Суворов Олег Александрович (RU),  
 Ипатова Лариса Григорьевна (RU),  
 Кузнецов Александр Львович (RU),  
 Погорелов Александр Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
 Федеральное государственное бюджетное  
 учреждение науки Институт теоретической  
 и экспериментальной биофизики Российской  
 академии наук (ИТЭБ РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 2213965 С1, 10.10.2003. RU  
 2559546, С1, 10.08.2015. РОМАНОВА Ю.М.,  
 АЛЕКСЕЕВА Н.В. И ДР., Способность к  
 формированию биопленок в искусственных  
 системах у различных штаммов *Salmonella*  
*Typhimurium* // Журнал микробиологии,  
 эпидемиологии и иммунологии, 4, 2006, стр.  
 38-42. RU 121251 U1, 20.10.2012.

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА БИООБРАСТАНИЯ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к современным приборам для изучения биопленок, предназначена для микроскопического (визуального) исследования жизненного цикла биопленок, образованных различными сообществами микроорганизмов на различных материалах и в различных средах в условиях контролируемого воздействия температуры, освещения, скорости перемещения жидкой среды, состава газовой фазы.

Устройство для исследования процесса биообразования, содержащее корпус проточной биологической ячейки с ячейкой, при этом в корпусе выполнены горизонтальные каналы с вкрученными штуцерами, в верхней части корпуса

установлена крышка с отверстием, соответствующим форме ячейки, при этом между корпусом и крышкой установлено покрывное стекло, при этом устройство загерметизировано с помощью эластичного уплотнения, при этом между покрывным стеклом и дном ячейки корпуса образована камера, на дне которой размещена пластинка исследуемого материала, находящегося в жидкой проточной или неподвижной среде, при этом устройство устанавливается между двух емкостей, соединенных гибкими трубками со штуцерами. Отличающееся тем, что корпус и крышка выполнены из прозрачного полимерного материала. Отличающееся тем, что просвет между

RU 178083 U1

RU 178083 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **179 657** (13) **U1**(51) МПК  
C12Q 1/24 (2006.01)  
C12N 11/14 (2006.01)  
C12M 3/04 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C12Q 1/24 (2006.01); C12N 11/14 (2006.01); C12M 3/04 (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017130117, 25.08.2017

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
25.08.2017Дата регистрации:  
21.05.2018Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 25.08.2017

(45) Опубликовано: 21.05.2018 Бюл. № 15

Адрес для переписки:  
142290, Московская обл., г. Пушкино, ул.  
Институтская, 3, ФГБУН Институт  
теоретической и экспериментальной биофизики  
Российской академии наук (ИТЭБ РАН)(72) Автор(ы):  
Кузнецов Александр Львович (RU),  
Левачева Мария Александровна (RU),  
Ипатов Ларока Григорьевна (RU),  
Суворов Олег Александрович (RU),  
Погорелов Александр Григорьевич (RU)(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт теоретической  
и экспериментальной биофизики Российской  
академии наук (ИТЭБ РАН) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2559546, 10.08.2015.  
РОМАНОВА Ю.М., АЛЕКСЕЕВА Н.В. и  
др. Способность к формированию  
биопленок в искусственных системах у  
различных штаммов *Salmonella*  
*Typhimurium* // Журнал микробиологии,  
эпидемиологии и иммунологии, 4, 2006, стр.  
38-42. RU 2477320 С2, 10.03.2013. US 5,281,537,  
25.01.1994. US 3510406 А, 05.05.1970. US  
3510406 А, 05.05.1970.(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ БИООБРАСТАНИЯ БИОПЛЕНКИ В ПРОСВЕТЕ ТРУБОПРОВОДОВ И  
ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ НА БИОПЛЕНКИ В ПРОТОЧНЫХ СИСТЕМАХ(57) Реферат:  
Полезная модель относится к современным  
приборам для изучения биопленок, предназначена  
для микроскопического (визуального)  
исследования жизненного цикла биопленок,  
образованных различными сообществами  
микроорганизмов на различных материалах и в  
различных средах в условиях контролируемого  
воздействия температуры, освещения, скорости  
перемещения жидкой среды, состава газовойфазы.  
Устройство для изучения процесса воздействия  
дезинфицирующих средств на биопленки в  
проточных системах, включающее открытый или  
закрытый резервуар, соединенный системой  
трубопроводов циркуляционный насос, систему  
изолированных двумя кранами трубопроводов  
и запорный кран.

RU 179657 U1

RU 179657 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup>**188 140** <sup>(13)</sup> **U1**(51) МПК  
A23N 12/02 (2006.01)  
A01G 31/00 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**(52) СПК  
A23N 12/02 (2008.08); A01G 31/00 (2008.08)

(21)(22) Заявка: 2018143379, 07.12.2018

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
07.12.2018Дата регистрации:  
01.04.2019Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 07.12.2018

(45) Опубликовано: 01.04.2019 Бюл. № 10

Адрес для переписки:  
142290, Московская обл., г. Пушкино, ул.  
Институтская, 3, Федеральное государственное  
бюджетное учреждение науки Институт  
теоретической и экспериментальной биофизики  
Российской академии наук (ИТЭБ РАН)(72) Автор(ы):  
Погорелова Мария Александровна (RU),  
Кузнецов Александр Львович (RU),  
Суворов Олег Александрович (RU),  
Козлов Игорь Владимирович (RU),  
Погорелов Александр Григорьевич (RU)(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
учреждение науки Институт теоретической  
и экспериментальной биофизики Российской  
академии наук (ИТЭБ РАН) (RU)(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2284137 C1, 27.09.2006. RU  
2332914 C2, 10.09.2008. SU 1338898 A1,  
23.09.1987. RU 2536493 C1, 27.12.2014.**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОЧИСТКИ ГИДРОПОННОГО ПОКРЫТИЯ**

(57) Реферат:

Полезная модель относится к устройствам для очистки гидропонного покрытия, а именно к машинам для мойки и обеззараживания загрязненного биопленками керамзита, и может использоваться для очистки гидропонных покрытий на предприятиях производящих плодоовощную продукцию в гидропонных условиях.

Устройство для очистки гидропонного покрытия включает корпус прямоугольной формы с трапециевидным верхом и дном, соединенным с трубопроводом для удаления уплотненного осадка, внутри корпуса между решетками с ячейками квадратного сечения размером 5-10 мм вертикально расположены пластиковые трубы диаметром 100 мм и оптимальной высотой 75 мм, при этом между верхней решеткой и вертикальными трубами, чередуясь, установлены перфорированные полимерные трубки для подачи воздуха и подачи водного раствора Анолита, при этом эти трубы

перфорированы только со стороны соприкосновения с верхней решеткой, причем перфорация трубы для подачи водного раствора Анолита выполнена под углом 40-60° по направлению движения гранул керамзита, причем для увеличения напора и точности направления струи могут быть установлены форсунки, а также на боковой стенке корпуса установлены аварийный и отводящий сливной трубопроводы.

Техническим результатом является совмещение процесса мойки, обеззараживание загрязненного биопленками керамзита и первичной очистки воды от крупных взвешенных частиц: песка, грунта и глины и, как следствие, увеличение пропускной способности устройства за счет меньшего количества остановок для технического обслуживания, отсутствие необходимости периодической промывки забившихся фильтров, минимальное количество движущихся деталей.



РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**194 989**<sup>(13)</sup> **U1**

(51) МПК  
*C12M 1/12* (2006.01)  
*C12M 1/34* (2006.01)  
*C12Q 1/02* (2006.01)  
*C12N 11/14* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК  
*C12M 1/12* (2019.05); *C12M 1/34* (2019.05); *C12Q 1/02* (2019.05)

(21)(22) Заявка: 2018116021, 27.04.2018

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
27.04.2018

Дата регистрации:  
10.01.2020

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 27.04.2018

(45) Опубликовано: 10.01.2020 Бюл. № 1

Адрес для переписки:  
 142290, Московская обл., г. Пушкино, ул.  
 Институтская, 3, ФГБУН Институт  
 теоретической и экспериментальной биофизики  
 Российской академии наук (ИТЭБ РАН)

(72) Автор(ы):  
 Кузнецов Александр Львович (RU),  
 Погорелова Мария Александровна (RU),  
 Суворов Олег Александрович (RU),  
 Погорелов Александр Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
 Федеральное государственное бюджетное  
 учреждение науки Институт теоретической  
 и экспериментальной биофизики Российской  
 академии наук (ИТЭБ РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 178083 U1, 22.03.2018. RU 2559546  
 C1, 10.08.2015. SU 1418560 A1, 23.08.1988. RU  
 2372400 C2, 10.11.2009. RU 2275616 C2,  
 27.04.2006. RU 2477320 C2, 10.03.2013.

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ РОСТА БИОПЛЕНКИ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБОПРОВОДОВ И ВОЗДЕЙСТВИЯ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ НА БИОПЛЕНКИ В ПРОТОЧНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

(57) Реферат:

Полезная модель относится к современным приборам для изучения биопленок, предназначена для микроскопического (визуального) исследования жизненного цикла биопленок, образованных различными сообществами микроорганизмов на различных материалах и в различных средах в условиях контролируемого воздействия температуры, освещения, скорости перемещения жидкой среды, состава газовой фазы. Устройство для роста биопленки на внутренней поверхности трубопроводов и воздействия дезинфицирующих средств на биопленки в проточных циркуляционных условиях, включающее три соединенные в линию и изолированные кранами (8, 2, 12) резервуара (9, 1, 13), соединенную с циркуляционным насосом (3) и подключенную к трубопроводу с

расширением (4), соединенным с линией, включающей три других изолированных кранами (5, 14, 10) резервуара (6, 15, 11), при этом четыре из изолированных кранами резервуаров попарно (13, 15, 16) соединены трубопроводами, образуя два контура, проходящих через циркуляционный насос (3) и трубопровод с расширением (4) при открытых кранах этих резервуаров и закрытых всех остальных кранах, при этом в резервуарах (1, 6) содержится искусственно зараженный водный раствор, а в резервуарах (13, 15) - дезинфицирующее средство, оставшиеся два резервуара (5, 11) наполнены водой, при этом устройство выполнено с возможностью попеременного биообращения просвета трубопроводов, обработки дезинфицирующим средством и смыва остатков. 1 ил.

RU 194989 U1

RU 194989 U1

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11)**198 829**<sup>(13)</sup> **U1**

(51) МПК  
*A01C 1/06* (2006.01)  
*B05B 3/14* (2006.01)  
*B05B 17/06* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

**(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ**

(52) СПК  
*A01C 1/06* (2020.02); *B05B 3/14* (2020.02); *B05B 17/06* (2020.02)

(21)(22) Заявка: 2020103420, 28.01.2020

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.01.2020

Дата регистрации:  
29.07.2020

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 28.01.2020

(45) Опубликовано: 29.07.2020 Бюл. № 22

Адрес для переписки:  
 142290, Московская обл., г. Пущино, ул.  
 Институтская, 3, Федеральное государственное  
 бюджетное учреждение науки Институт  
 теоретической и экспериментальной биофизики  
 Российской академии наук (ИТЭБ РАН)

(72) Автор(ы):  
 Погорелова Мария Александровна (RU),  
 Кузнецов Александр Львович (RU),  
 Панаит Артем Игоревич (RU),  
 Суворов Олег Александрович (RU),  
 Козлов Игорь Владимирович (RU),  
 Погорелов Александр Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
 Федеральное государственное бюджетное  
 науки Институт теоретической и  
 экспериментальной биофизики Российской  
 академии наук (ИТЭБ РАН) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 2655284 C1, 24.05.2018. RU 110593  
 U1, 27.11.2011. RU 2350074 C1, 27.03.2009. CN  
 104535484 A, 22.04.2015.

**(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ ЖИДКОСТНЫМ КАПЕЛЬНЫМ ТУМАНОМ, ПРОИЗВЕДЕННЫМ ИЗ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩИХ СРЕДСТВ**

(57) Реферат:  
 Полезная модель относится к современным приборам для изучения воздействия дезинфицирующих средств, в частности к приборам для моделирования некоторых атмосферных характеристик при исследованиях, с помощью которых моделируется обработка поверхности плодоовощной продукции жидкостным капельным туманом. Устройство для обработки плодоовощной продукции жидкостным капельным туманом, произведенным из дезинфицирующих средств, включающее

резервуар 1 с установленным обратным клапаном 3, с погруженным генератором капель 2, соединенный через компрессор 5 с трубопроводом подачи 4 в камеру обработки 7, с размещенным распределительным коллектором 6, решеткой 8 для размещения объекта обработки 9 и трубопроводом отвода конденсата 10, подключенным через насос с внешним поплавком 11 к резервуару для сброса конденсата 12. Установленная решетка 8 выполнена из нержавеющей стали.

RU 198829 U1

RU 198829 U1

## Приложение Б

Методические и практические рекомендации для персонала предприятий по переработке растительной продукции, предприятий общественного питания и объектов продовольственной торговли системы сельского хозяйства и продовольствия Московской области

**СОГЛАСОВАНО**

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «Московский  
государственный университет  
пищевых производств»

  
М.П. Шетинин  
«16» декабря 2019 г.

**УТВЕРЖДАЮ**

Начальник управления развития  
отраслей сельского хозяйства  
Министерства сельского хозяйства  
и продовольствия Московской области

  
Д.В. Коробов  
«16» декабря 2019 г.

**СОГЛАСОВАНО**

Генеральный директор  
ООО «Дельфин Хьюва»

  
М.А. Левачева  
«16» декабря 2019 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

по применению электрохимически активированного водного раствора хлоркислородных и гидропероксидных метастабильных оксидантов для обработки растительного сырья и продукции, помещений, оборудования на объектах пищевой промышленности, общественного питания, продовольственной торговли

**Методические рекомендации по применению электрохимически активированного водного раствора метастабильных хлоркислородных и гидропероксидных оксидантов для обработки растительного сырья и продукции, помещений, оборудования на объектах пищевой промышленности, общественного питания, продовольственной торговли.**

Авторы: доцент кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный университет пищевых производств», к.т.н. Суворов О.А., младший научный сотрудник лаборатории функциональной микроскопии биоструктур федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук Панайт А.И., заведующий лабораторией функциональной микроскопии биоструктур федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт теоретической и экспериментальной биофизики Российской академии наук, д.б.н. Погорелов А.Г., руководитель отдела научных исследований и разработок ООО «Дельфин Аква», д.т.н. Ипатова Л.Г., ведущий аналитик отдела развития растениеводства и внедрения передовых технологий управления развития отраслей сельского хозяйства Министерства сельского хозяйства и продовольствия Московской области Полякова Д.И.

Рекомендации предназначены для персонала предприятий по переработке растительной продукции, предприятий общественного питания и объектов продовольственной торговли системы сельского хозяйства и продовольствия Московской области.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	4
1 Нормативные требования к микробиологическим показателям качества овощей и овощной продукции.....	4
2 Опыт применения электрохимически активированных растворов для обеззараживания пищевой продукции.....	20
2.1 Антимикробные электрохимически активированные растворы. Общие сведения.....	20
2.2 Применение электрохимически активированного анолита для дезинфекции различных объектов на предприятиях пищевой промышленности и общественного питания.....	21
3 Дезинфицирующее и технологическое вспомогательное средство, полученное путем электрохимической активации водного раствора хлорида натрия: синтез, свойства, применение.....	23
3.1 Общие положения.....	23
3.2 Назначение и области применения.....	24
3.3 Приготовление рабочих растворов средства.....	26
3.4 Технология применения средства в целях дезинфекции овощей и фруктов, свежих резаных и смесей из свежих резаных овощей и фруктов.....	26
4 Контроль качества, методы анализа.....	27
5 Требования техники безопасности.....	29
6 Меры первой помощи.....	30
Заключение.....	31
Список литературы.....	32
Приложение - Практические рекомендации по обеспечению безопасности пищевых продуктов и организации общественного питания на предприятии и вне предприятия.....	35



## Приложение В

Технологическая инструкция по применению электрохимически активированных растворов на предприятиях общественного питания, пищевой и биотехнологической промышленности ТИ 56.29.19-006-02068634-2020

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ» (ФГБОУ ВО «МГУПП»)  
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ «ДЕЛФИН АКВА»

**СОГЛАСОВАНО**

Генеральный директор  
ООО «Делфин Аква», к.т.н.  
М.А. Левачева  
«01» сентября 2020 г.



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по научной работе  
ФГБОУ ВО «МГУПП», д.т.н.  
М.П. Щетинин  
«01» сентября 2020 г.



**ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ИНСТРУКЦИЯ**  
по применению электрохимически активированных растворов  
на предприятиях общественного питания,  
пищевой и биотехнологической промышленности  
ТИ 56.29.19-006-02068634-2020  
(впервые)

Дата введения в действие - «01» сентября 2020 г.

РАЗРАБОТАНО:  
к.т.н. Суворов О.А., д.т.н. Лабугина Н.В. (ФГБОУ ВО «МГУПП»);  
Панаит А.И., д.б.н. Погорелов А.Г. (ИТЭБ РАН);  
д.т.н. Ипатова Л.Г. (ООО «Делфин Аква»).

Москва  
2020

## Приложение Г

Акты о проведении апробации результатов исследований,  
производственных испытаний и о внедрении

ООО «КВАНТ»

ИНН 5028001780 КПП 502801001 ОГРН 102003470227 ОКПО 11735868

Адрес: Московская область, г. Можайск, ул. Клементьевская, д.4

## АКТ

**О проведении апробации результатов исследования  
Воложаниновой Светланы Юрьевны  
«Разработка ресурсосберегающих решений повышения микробиологической  
безопасности на предприятиях индустрии питания»**

Настоящий акт составлен комиссией в составе сотрудников ООО «Квант»: Чистяковой М.В., магистрантом Воложаниновой С.Ю. и научным руководителем, Доцентом кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса, к.т.н. Суворовым О.А. ФГБОУ ВО «Московского государственного университета пищевых производств» по результатам опытно-промышленной испытаний технологии применения электрохимически активированных (ЭХА) растворов на объектах индустрии питания, проведенных в мае 2019 г.

Целью проводимой работы являлось апробирование лабораторных исследований, проведенных в лаборатории кафедры «Индустрия питания, гостиничного бизнеса и сервиса» в производственных условиях.

Испытания проводились с использованием ЭХА водных растворов: Анолит АНК Супер, католит и включали в себя комплекс таких мероприятий, как освобождение (мойку) от остатков пищевой продукции (молока и молочных продуктов), очистку тем или иным способом от твердых образований (молочного камня) и освобождение от микроорганизмов, т.е. дезинфекцию, подразумевающую комплекс мероприятий, позволяющих считать оборудование чистым как по физико-химическим, так и по микробиологическим показателям. При содержании хлора (190...220 мг/л) в растворе и  $pH < 7$  вначале наблюдается быстрая гибель бактерий. В результате проведенных исследований наблюдалось полное уничтожение поверхностно микрофлоры бактерий исследуемого оборудования.

Заключение. Предложенная технология применения электрохимически активированных растворов на объектах индустрии питания показала возможность использования предложенного метода для проведения дезинфекционных мероприятий, направленных на повышения качества выпускаемой продукции.

Директор ООО «Квант»

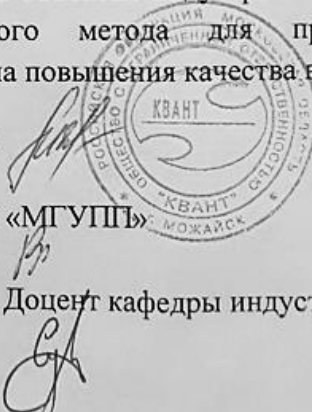
Чистякова М.В.

Магистрант ФГБОУ ВО «МГУПП»

Воложанинова С.Ю.

Научный руководитель, Доцент кафедры индустрии питания, гостиничного  
бизнеса и сервиса

Суворов О.А.



## АКТ АПРОБАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Предмет внедрения:** результаты научных исследований по теме: «Совершенствование ресурсосберегающей технологии хлебобулочных изделий для предприятий общественного питания».

**Автор:** Кочергина Дарья Вадимовна магистрант кафедры «Индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса», института пищевых систем и здоровьесберегающих технологий, направление подготовки 19.04.04 – Технология продукции и организация общественного питания, направленность программы: «Научные основы развития технологии общественного питания», ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств».

**Научный руководитель:** доцент кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса Московского государственного университета пищевых производств, к.т.н. Суворов Олег Александрович.

**Форма и способы внедрения:** методики экспериментальных исследований апробированы на предприятии ИП Стрельцов Дмитрий Сергеевич (кафе «у Леонидыча»), полученные данные применены для хлебобулочных изделий на производстве.

**Ожидаемые результаты внедрения:** применение ресурсосберегающих технологий для повышения качества и безопасности хлебобулочных изделий в условиях производства.

Директор производства  
Д.С. Стрельцов, г. Суздаль

ИП СТРЕЛЬЦОВ Д.С.  
ОГРН 50/032300027290  
ИНН 50/01444102  
ВЛАДИМИРСКАЯ ОБЛАСТЬ  
г. СУЗДАЛЬ



**АКТ АПРОБАЦИИ  
РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ**

**Предмет внедрения:** результаты научных исследований по теме: «Разработка технологических методов повышения безопасности и конкурентоспособности мучных изделий».

**Автор:** Фокина Екатерина Николаевна магистрант кафедры «Технологии индустрии питания», института инновационных технологий и биоиндустрии продуктов питания, направление подготовки 19.04.04 — Технология продукции и организация общественного питания, направленность программы: «Научные основы развития технологии общественного питания», ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств».

**Научный руководитель :** доцент кафедры технологии индустрии питания Московского государственного университета пищевых производств, к.т.н. Суворов О.А.

**Форма и способы внедрения:**

Методики экспериментальных исследований апробированы на предприятии ООО 4ПАПАС, полученные данные применены для мучных изделий на производстве.

Ожидаемые результаты внедрения:

Повышение уровня безопасности и конкурентоспособности мучных изделий.

Сотрудник производства

ООО «4ПАПАС», г.Москва



УТВЕРЖДАЮ

Управляющий Фабрикой-кухней Лефорт  
 ООО «Вертикаль плюс»  
 United Catering Group



Лагода Е.В.

20.12.2019

АКТ

**проведения производственных испытаний технологических решений в практике обеспечения безопасности общественного питания**

Настоящий Акт составлен комиссией в следующем составе: заведующий производством, технолог Фабрики-кухни Лефорт (ООО «Вертикаль плюс») - предприятия питания United Catering Group Дерябина В.В., заместитель управляющего Фабрики-кухни Лефорт (ООО «Вертикаль плюс») - предприятия питания United Catering Group Коршаков А.В., заведующий кафедрой технологии индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», к.т.н. Кусова И.У., доцент кафедры технологии индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», к.т.н. Суворов О.А. Акт составлен по результатам производственных испытаний – дезинфекционной обработки поверхностей помещений и оборудования, проведенной в декабре 2019 года в производственных условиях Фабрики-кухни Лефорт (ООО «Вертикаль плюс»), предприятия питания United Catering Group (UCG) — российского оператора корпоративного питания (2000 сотрудников, 80 объектов питания, 65000 обедов в сутки, 7 регионов Российской Федерации, 100 крупных клиентов в сегменте промышленных предприятий, офисных центров крупных российских и международных компаний, объектов социальной инфраструктуры и Бизнес-центров).

Цель испытаний – оценка эффективности применения технологических решений при обеспечении безопасности общественного питания в рамках стандартной санитарно-гигиенической программы Фабрики-кухни.

Задачи испытаний:

- производственная оценка способов и режимов применения дезинфицирующего средства - электрохимически активированного водного раствора хлоркислородных и гидропероксидных метастабильных оксидантов для совершенствования практики обеспечения микробиологической безопасности общественного питания;
- анализ возможности масштабирования предлагаемых решений в системе обеспечения микробиологической безопасности корпоративного питания в индустриальном и социальном секторе.

В процессе испытаний отработаны способы и режимы дезинфекции поверхностей помещений и оборудования на участке производства кондитерских мелкоштучных изделий и кулинарии Фабрики-кухни Лефорт (ООО «Вертикаль плюс», UCG) в рамках стандартной санитарно-гигиенической программы в следующих критических точках:

1. Обработка рабочих поверхностей, оборудования, инвентаря в холодном цехе;
2. Обработка рабочих поверхностей, оборудования, инвентаря в кондитерском цехе;
3. Обработка полов и стен производственных помещений.



Отбор образцов электрохимически активированного водного раствора хлоркислородных и гидропероксидных соединений (оксидантов), вырабатываемого электрохимическим синтезом из водного раствора натрия хлористого на установке СТЭЛ-АНК-СУПЕР (Свидетельство о государственной регистрации RU.77.99.88.002.E.010872.12.15 от 17.12.2015, дезинфицирующее средство «Анолит АНК СУПЕР») осуществлен 10 декабря 2019 г. на складе изготовителя ООО «Дельфин Аква» (Россия) в соответствии с ТУ 9392-001-30133733-2012 по адресу: 115088, г. Москва, 2-ой Южнопортовый проезд, дом 35. Средство рекомендовано к применению в соответствии с утвержденными Роспотребнадзором Инструкциями по применению для целей дезинфекции, в том числе помещений и оборудования на предприятиях различных отраслей пищевой промышленности. Обработку поверхностей на отдельных участках производства кондитерских мелкостучных изделий и кулинарии проводили в соответствии с инструкциями по применению средства №ДА 003-13 от 15.03.2013 г.; №ДА 004-13 от 15.03.2013; №ДА 005-13 от 15.03.2013 г. Антимикробная активность средства подтверждена ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора, ГУП «Московский городской центр дезинфекции», ФГБУ НИИ вирусологии им. Д.И. Ивановского, ФБУН ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии, ВНИИ молочной промышленности, ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности. Показатели качества дезинфицирующего средства приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели качества применяемого дезинфицирующего средства

Наименование показателя	Фактическое значение
Внешний вид	Бесцветная, прозрачная жидкость
Запах	Слабый запах оксидантов
Водородный показатель (рН)	6,4
Показатели рабочего раствора	
- массовая доля активного хлора	548
концентрация мг активного хлора / л	
- температура рабочего раствора, °С	20
Массовая суммарная концентрация растворенных веществ (минерализация), г/л, не более	0,61
Гигиенические характеристики средства	4 класс опасности (малоопасные вещества) по параметрам острой токсичности в соответствии с классификацией ГОСТ 12.1.007-76 при введении в желудок; 4 класс опасности (малоопасные вещества) по параметрам острой токсичности в соответствии с классификацией ГОСТ 12.1.007-76 при нанесении на кожу

При дезинфекции применяли способы протирания, замачивания, погружения, орошения и аэрозольной обработки. Перед процедурой обеззараживания поверхности подвергали механической очистке от пищевых остатков. До дезинфекции и после экспозиции брали смывы с поверхностей и производили микробиологический анализ в соответствии с принятой на Фабрике-кухне процедурой. Режимы и эффективность обеззараживания различных объектов на предприятии общественного питания приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Режимы и эффективность обеззараживания различных объектов на предприятии общественного питания

Объект обеззараживания	Экспозиция, мин	Способ дезинфекции	Процедура обеззараживания	Эффективность обеззараживания
Объекты, непосредственно контактирующие с пищевым сырьем, разделочные столы, стеллажи, доски разделочные, тара (лотки, ковши и другая тара)	15	Протирание	Обрабатываемую поверхность смачивают дезинфицирующим средством по мере его высыхания	Подтверждается
Посуда, мелкий инвентарь, в том числе ножи разделочные	15	Погружение	Профилактическую дезинфекцию мелкого инвентаря и посуды осуществляют путем погружения в передвижную или стационарную ванну с рабочим раствором дезинфицирующего средства. Дезинфекцию крупного инвентаря (напольные тележки, ковши и т.п.) проводят методом протирания	Подтверждается
Поверхности в помещениях на предприятии общественного питания (жесткая мебель, пол, стены, поверхности)	10	Протирание, орошение, аэрозольная обработка	Протирание мягкой тканью, смоченной средством при норме расхода 150 мл/м <sup>2</sup> поверхности. Обработка способом орошения, распыления при норме расхода средства - 300 мл/м <sup>2</sup>	Подтверждается
Транспорт для перевозки пищевых продуктов	10	Протирание, орошение, аэрозольная обработка	Обеззараживание осуществляют методом протирания мягкой тканью, смоченной средством из расчета 150 мл/м <sup>2</sup> или путем орошения, распыления из расчета 300 мл/м <sup>2</sup> до полного смачивания поверхностей	Подтверждается
Поверхности мягкие, в том числе ковровые и прочие напольные	10	Протирание, орошение, аэрозольная обработка	Обрабатываемую поверхность смачивают дезинфицирующим средством по мере его высыхания	Подтверждается

покрытия, обивочные ткани, мягкая мебель				
Посуда без остатков пищи	10	Погружение	Столовую посуду освобождают от остатков пищи, полностью погружают в средство из расчета 2 л на 1 комплект. По окончании дезинфекционной выдержки посуду промывают проточной водой в течение 1 мин. Предметы для мытья посуды погружают в средство. По окончании дезинфекционной выдержки их высушивают	Подтверждается
Посуда с остатками пищи, предметы для мытья посуды	30	Погружение		
Санитарно- техническое оборудование	20	Протирание, орошение	Обеззараживание осуществляют способом протирания отдельной тканью, смоченной средством из расчета 150 мл/м <sup>2</sup> или путем орошения из расчета 300 мл/м <sup>2</sup> до полного смачивания поверхностей	Подтверждается
Уборочный материал и инвентарь	30	Замачивание, протирание	Замачивание в средстве или протирание мягкой тканью, смоченной средством из расчета 150 мл/м <sup>2</sup> . По окончании дезинфекции высушивают	Подтверждается
Мусороуборочное оборудование, мусоросборники, контейнеры для отходов	30	Протирание, орошение, аэрозольная обработка	Норма расхода средства 300 мл/м <sup>2</sup> . По окончании дезинфекции высушивают	Подтверждается

#### Заключение

Настоящие производственные испытания выполнены в соответствии с санитарными правилами "Санитарно-эпидемиологические требования к организациям общественного питания, изготовлению и оборотоспособности в них пищевых продуктов и продовольственного сырья. СанПин 2.3.6.1079-01" (утв. Постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 8 ноября 2001 г. N 31 «О введении в действие санитарных правил», с изм. и доп. от 10 июня 2016 г.), ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза "О безопасности пищевой продукции" (утв. Решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года N 880, с изм. и доп. от 10 июня 2014 г.), Пособием Департамента по безопасности продуктов питания, зоонозам и пищевым болезням Всемирной организации здравоохранения «Пять важнейших принципов безопасного питания» (World Health Organization, Five Keys to Safer Food Manual), 2006 г.



115230, Москва, Хлебозаводский пр-д, 7с10, БЦ «РТС»  
 Tel.: +7(495)106-73-37  
 e-mail: [info@ucg.ru](mailto:info@ucg.ru)  
[www.ucg.ru](http://www.ucg.ru)



Анализ результатов производственных испытаний технологических решений в практике обеспечения безопасности общественного питания в рамках стандартной санитарно-гигиенической программы Фабрики-кухни Лефорт (ООО «Вертикаль плюс») - предприятия питания United Catering Group показал возможность и целесообразность применения разработанных технологических решений. Во всех случаях бактериологические исследования дали отрицательные результаты.

В целях повышения качества продуктов и оптимизации технологии пищевого производства реализована прикладная задача испытаний - разработка высокоэффективных способов управления качеством и безопасностью на предприятии общественного питания посредством электрохимически активированного водного раствора хлоркислородных и гидропероксидных метастабильных оксидантов без использования дополнительных химических реагентов. Применение разработанных технико-технологических решений для дезинфекции помещений и оборудования на Фабриках-кухнях, кондитерских предприятиях и других объектах индустрии питания может дать положительный экологический и экономический эффект по сравнению с применением других хлорсодержащих средств.

Вышеприведенные данные показывают, что эффективность применения электрохимически активированного водного раствора хлоркислородных и гидропероксидных метастабильных оксидантов находится на уровне ранее применяемых дезинфицирующих средств, однако имеет следующие преимущества: является раствором универсального антимикробного спектра действия и назначения, имеет не только противомикробные свойства, но обладает и моющей способностью, используется как для дезинфекции поверхностей, оборудования, инвентаря, так и для уборки помещений, исключает возможность выработки к нему резистентности патогенных микроорганизмов в течение любого длительного периода, безопасно для человека и окружающей среды, его активно действующие вещества представлены смесью высокоактивных метастабильных хлоркислородных и гидропероксидных соединений, продукты деградации которых не накапливаются во внешней среде.

Результаты производственных испытаний технологических решений в практике обеспечения безопасности общественного питания соответствуют предъявляемым санитарным требованиям и нормам. Разработанные технологические решения (технологии, способы, режимы) могут быть рекомендованы в системе обеспечения безопасности корпоративного питания в индустриальном и социальном секторе.

#### Представители United Catering Group

Заведующий производством, технолог Фабрики-кухни Лефорт  
 ООО «Вертикаль плюс» United Catering Group \_\_\_\_\_ Дерябина В.В.

Заместитель управляющего Фабрики-кухни Лефорт  
 ООО «Вертикаль плюс» United Catering Group \_\_\_\_\_ Коршаков А.В.

#### Представители ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»

Заведующий кафедрой технологии индустрии питания,  
 гостиничного бизнеса и сервиса МГУПП, к.т.н. \_\_\_\_\_ Кусова И.У.

Доцент кафедры технологии индустрии питания,  
 гостиничного бизнеса и сервиса МГУПП, к.т.н. \_\_\_\_\_ Суворов О.А.

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
« Черкизовский мясоперерабатывающий завод »  
ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЛАБОРАТОРИЯ**

Юридический адрес:  
107143, г. Москва, Пермская ул., владение 5  
Фактический адрес лаборатории:  
107143, г. Москва, Пермская ул., владение 5,  
строение 2  
Тел./факс: 8(495) 788-32-32  
ОКПО 11510767  
ОГРН 1027700126849  
ИНН/КПП  
7718013714/774850001

Лицензия № 77.01.13.001.Л.000275.06.07



**Акт проведения лабораторно-производственных испытаний  
ПРОТОКОЛ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИГИЕНИЧЕСКИХ СМЫВОВ  
от 03 марта 2020 года**

1	Заказчик: Попова А.И., Суворов О.А., Кусова И.У. (ФГБОУ ВО «МГУПП»)
2	Место отбора: цех обвалки
4	Наименование пробы (образца): смывы
5	Дата и время отбора пробы (образца): 27.02.2020 г. 17:30
6	Дата и время доставки пробы в лабораторию: 27.02.2020 г. 18:00
7	Испытания проведены: с 27.02.2020 г. по 03.03.2020 г.
8	Регистрационный номер пробы (образца): б/н
9	НД на методику исследований: МУ № 2657-82, ГОСТ 32031-2012, ГОСТ 10444.12-2013
10	Цель: определение дезинфицирующей эффективности электрохимически активированного раствора (ЭХАР) в сравнении с широко используемыми дезинфектантами при обеззараживании ножа разделочного и доски обвалочной для повышения микробиологической безопасности продовольственного сырья, полуфабрикатов и продукции общественного питания



**РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОВЕДЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ  
МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ**

Дата испытаний	Наименование образца	Наименование определяемых показателей	Фактический результат	Значение по НД	НД на методы исследований
27.02.2020	Нож разделочный до дезинфекции	КМАФАнМ КОЕ/см <sup>2</sup>	3,0	Не более 1000,0	МУ № 2657-82
		БГКП	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		E. coli	Не обнаружены	-	МУ № 2657-82
		Сальмонеллы	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		L. monocytogenes	Не обнаружены	-	ГОСТ 32031-2012
		Дрожжи и плесени	Не обнаружены	-	ГОСТ 10444.12-2013
27.02.2020	Нож разделочный после дезинфекции раствором для поверхностей «Sigitan Speed» Спирт дез средство не требующего смывания	КМАФАнМ КОЕ/см <sup>2</sup>	5,0	Не более 1000,0	МУ № 2657-82
		БГКП	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		E. coli	Не обнаружены	-	МУ № 2657-82
		Сальмонеллы	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		L. monocytogenes	Не обнаружены	-	ГОСТ 32031-2012
		Дрожжи и плесени	Не обнаружены	-	ГОСТ 10444.12-2013
27.02.2020	Нож разделочный после погружения в ЭХАР (15 мин)	КМАФАнМ КОЕ/см <sup>2</sup>	1	Не более 1,0 x10 <sup>2</sup>	МУ № 2657-82
		БГКП	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		E. coli	Не обнаружены	-	МУ № 2657-82
		Сальмонеллы	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		L. monocytogenes	Не обнаружены	-	ГОСТ 32031-2012
		Дрожжи и плесени	Не обнаружены	-	ГОСТ 10444.12-2013
27.02.2020	Нож разделочный после погружения в ЭХАР (30 мин)	КМАФАнМ КОЕ/см <sup>2</sup>	Не обнаружены	Не более 1,0 x10 <sup>2</sup>	МУ № 2657-82
		БГКП	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		E. coli	Не обнаружены	-	МУ № 2657-82
		Сальмонеллы	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		L. monocytogenes	Не обнаружены	-	ГОСТ 32031-2012
		Дрожжи и плесени	Не обнаружены	-	ГОСТ 10444.12-2013
27.02.2020	Обвалочная доска до дезинфекции	КМАФАнМ КОЕ/см <sup>2</sup>	14	Не более 1,0 x10 <sup>2</sup>	МУ № 2657-82
		БГКП	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		E. coli	Не обнаружены	-	МУ № 2657-82
		Сальмонеллы	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		L. monocytogenes	Не обнаружены	-	ГОСТ 32031-2012
		Дрожжи и плесени	Не обнаружены	-	ГОСТ 10444.12-2013
27.02.2020	Обвалочная доска после обработки спиртовым раствором (протирание - 3 мин)	КМАФАнМ КОЕ/см <sup>2</sup>	Не обнаружены	Не более 1,0 x10 <sup>2</sup>	МУ № 2657-82
		БГКП	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		E. coli	Не обнаружены	-	МУ № 2657-82
		Сальмонеллы	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		L. monocytogenes	Не обнаружены	-	ГОСТ 32031-2012
		Дрожжи и плесени	Не обнаружены	-	ГОСТ 10444.12-2013
27.02.2020	Обвалочная доска после обработки ЭХАР (погружение - 2 мин, протирание - 1 мин)	КМАФАнМ КОЕ/см <sup>2</sup>	Не обнаружены	Не более 1,0 x10 <sup>2</sup>	МУ № 2657-82
		БГКП	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		E. coli	Не обнаружены	-	МУ № 2657-82
		Сальмонеллы	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		L. monocytogenes	Не обнаружены	-	ГОСТ 32031-2012
		Дрожжи и плесени	Не обнаружены	-	ГОСТ 10444.12-2013



27.02.2020	Обвалочная доска, полная мойка (смыть водой, нанесение пенного раствора, обработка дез.средством, смыть водой)	КМАФАнМ КОЕ/см <sup>2</sup>	Не обнаружены	Не более 1,0 x10 <sup>3</sup>	МУ № 2657-82
		БГКП	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		E. coli	Не обнаружены	-	МУ № 2657-82
		Сальмонеллы	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		L. monocytogenes	Не обнаружены	-	ГОСТ 32031-2012
		Дрожжи и плесени	Не обнаружены	-	ГОСТ 10444.12-2013
27.02.2020	Обвалочная доска, полная мойка (смыть водой, нанесение пенного раствора, обработка ЭХАР - 15 мин)	КМАФАнМ КОЕ/см <sup>2</sup>	Не обнаружены	Не более 1,0 x10 <sup>3</sup>	МУ № 2657-82
		БГКП	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		E. coli	Не обнаружены	-	МУ № 2657-82
		Сальмонеллы	Не обнаружены	Не допускаются	МУ № 2657-82
		L. monocytogenes	Не обнаружены	-	ГОСТ 32031-2012
		Дрожжи и плесени	Не обнаружены	-	ГОСТ 10444.12-2013

**Примечание.**

При лабораторно-производственных испытаниях использовали широко применяемые дезинфектанты и анолитную фракцию ЭХАР\* в сопоставимых режимах обработки и концентрациях.

\* - Свидетельство о государственной регистрации Федеральной службы по защите прав потребителей и благополучия человека № RU.77.99.88.002.E.010872.12.15 от 17.12.2015 г.;

- Инструкция № ДА 005-13 по применению дезинфицирующего средства «Анолит АНК СУПЕР» для целей дезинфекции и стерилизации, утв. ФБУН ЦНИИ эпидемиологии Роспотребнадзора 15.03.2013 г.;

- п. 5 Перечня хлорсодержащих средств, все вирулицидные режимы дезинфекции поверхностей которых соответствуют современным представлениям о минимальных эффективных вирулицидных концентрациях (МЭВК) активного хлора в рабочих растворах (Национальный справочно-аналитический портал о дезсредствах, зарегистрированных на территории РФ <http://degreest.ru>, 24 февраля 2020 г., на основании исследований ФБУН НИИДезинфектологии Роспотребнадзора при определении МЭВК активного хлора в отношении модельных штаммов вирусов: Poliovirus типа 1 Sabin (вакцинный штамм Sabin (LSc2ab) и Adenovirus 5 типа (штамм Аденоид 75). Строение модельного штамма вируса Poliovirus наиболее близко к строению коронавируса, вызывающего Covid-19).

Рекомендации Роспотребнадзора для органов, организаций и специалистов: от 14.02.2020 г. № 02/2230-2020-32 по проведению профилактических и дезинфекционных мероприятий по предупреждению распространения новой коронавирусной инфекции в организациях общественного питания и пищеблоках образовательных организаций.

**Заключение**

Лабораторно-производственные испытания в сравнении с применяемыми дезинфектантами показали дезинфицирующую эффективность, перспективность и целесообразность применения анолитной фракции электрохимически активированного раствора для снижения микробиологической контаминации и повышения безопасности оборудования, продовольственного сырья и продукции общественного питания.

Учитывая способность дезинфицирующего средства «Анолит АНК СУПЕР», вирулицидные режимы дезинфекции поверхностей которого могут быть эффективны в отношении вирусов, в т.ч. коронавируса, вызывающего Covid-19, можно рекомендовать его применение в целях усиления противоэпидемических мероприятий в условиях сохранения рисков распространения новой коронавирусной инфекции.

Руководитель проекта по реорганизации локальных лабораторий АО «ЧМПЗ»

Главный санитарный врач АО «ЧМПЗ»

Руководитель технологического отдела АО «ЧМПЗ»

Инженер-технолог УИП ПАО «Группа Черкизово», студент кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса ФГБОУ ВО «МГУПП» (19.04.04 Технология продукции и организация общественного питания)

Доцент кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса ФГБОУ ВО «МГУПП»

Заведующий кафедрой индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса ФГБОУ ВО «МГУПП»

Гришанова Е.Р.  
Полторшкая Е.Н.  
Ходаков А.В.  
Попова А.И.  
Суворов О.А.  
Кусова И.У.

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«МОСКОВСКИЙ АВИАЦИОННЫЙ ИНСТИТУТ  
(национальный исследовательский университет)»  
**СТОЛОВАЯ МАИ**



Утверждаю:

Директор Столовой МАИ

Бурмистрова И.Х., к.т.н.

«17» ноября 2020 г.

**АКТ  
ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ**

Комиссия в составе представителей столовой ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» директора Бурмистровой И.Х., зав. производством Трикулич С.М., инженера Мурашова В.М. провели опытно-промышленную апробацию результатов научной разработки технологии снижения микробной контаминации технологических линий и пищевой продукции с применением электрохимической обработки. Авторы разработки: к.т.н., доцент Суворов О.А. (кафедра индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств»), м.н.с. Панаит А.И. (лаборатория функциональной микроскопии биоструктур ФГБУН «Институт теоретической и экспериментальной биофизики РАН», г. Пущино).

Цель апробации заключалась в отработке режимов обеззараживания различных объектов в производственных условиях предприятия индустрии питания на 2000 мест при высшем учебном заведении. В период с 12.08.2020г. по 17.11.2020г. в столовой регулярно проводилась специальная обработка электрохимически активированными растворами (дезинфицирующим и технологическим вспомогательным средством «Анолит АНК СУПЕР», в том числе методом объемной дезинфекции, и католитом – электрохимически концентрированным (9-10%) раствором гидроксида натрия). Анолитом обрабатывали овощи (баклажаны, кабачки, капуста б\к, китайская капуста и др.) и фрукты (апельсины, мандарины, лимоны, бананы, яблоки зеленые и красные и др.); анолитом и/или католитом - технологические линии, оборудование, столовую посуду, поверхности помещений и других объектов в установленных режимах.

Полученные практические результаты (протокол № 177 от 17.11.2020г.) доказывают эффективность предложенных способов в подавлении микробной контаминации пищевых продуктов и различных участков технологической цепи. Регулярное обеззараживание обеими фракциями электрохимически активированного раствора (анолитом и католитом) обеспечивало достоверное удаление биопленки микроорганизмов на всех выбранных объектах.

Заключение:

Комиссия рекомендует внедрение разработанных способов обеззараживания продуктов питания и производственных объектов при использовании электрохимически активированных растворов в столовой ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)», что позволит обеспечить должный санитарно-эпидемиологический уровень производства биологически безопасных пищевых продуктов с заданными качественными характеристиками.

И.Х. 14.11.2020  
(подпись/дата)

С.М. 14.11.2020  
(подпись/дата)

В.М. 14.11.2020  
(подпись/дата)

О.А. 17.11.2020  
(подпись/дата)

А.И. 17.11.2020  
(подпись/дата)

Бурмистрова И.Х.  
(ф.и.о.)

Трикулич С.М.  
(ф.и.о.)

Мурашов В.М.  
(ф.и.о.)

Суворов О.А.  
(ф.и.о.)

Панаит А.И.  
(ф.и.о.)

ОКПД 10.13.14.150

ОКС 67.060

МПЗ "МОСКВОРЕЦКИЙ»

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

МПЗ "МОСКВОРЕЦКИЙ"

Карпаччо из куриных грудок

Технические условия

ТУ 10.13.14-087-37676459-2017

Дата введения в действие – 23.11.2020 г.

Москва, 2020



**АКТ**  
**контрольной проработки кулинарной продукции,**  
**определение норм отходов и потерь на новые виды сырья, пищевых продуктов, материалов**

«МПЗ «Москворецкий»

"23" ноября 2020 г.

Проведено контрольное изготовление изделия – карпаччо из куриных грудок.

Для проведения контрольной проработки взято: *филе цыпленка-бройлера, вода питьевая, соль пищевая, перец черный, кориандр, можжевельник, гвоздика, комплексная пищевая добавка Стабилизект 45.*

№	Наименование сырья и полуфабрикатов	Вид обработки	Брутто, г	Отходы при холодной обработке, %	Нетто, г	Отходы при тепловой обработке, %	Отходы после тепловой обработки, %	Выход, г
1	Филе цыпленка-бройлера	Удаление жира, обработка электрохимически активированным водным раствором оксидантов с ОВП +800±100 мВ	500	2	490	27	0	350
2	Вода питьевая	Нет обработки	35	0	35	0	0	-
3	Соль пищевая	Нет обработки	15	0	15	0	0	-
4	Перец черный	Нет обработки	10	0	10	0	0	-
5	Кориандр	Нет обработки	8	0	8	0	0	-
6	Можжевельник	Нет обработки	4	0	4	0	0	-
7	Гвоздика	Нет обработки	4	0	4	0	0	-
8	Комплексная пищевая добавка Стабилизект 45	Нет обработки	10	0	10	0	0	-

Выход полуфабриката, г 490

Выход готового изделия, г 350

## Технология приготовления:

Филе цыпленка-бройлера обрабатывают электрохимически активированным водным раствором оксидантов с ОВП +800±100 мВ в течение 15 мин. Затем обработку повторяют и снова выдерживают 15 мин. Промывают, обсушивают, маринуют в предварительно подготовленных специях в течение 4 ч.

Маринад: соль, черный перец, кориандр, гвоздику, можжевельник, комплексную пищевую добавку тщательно перемалывают на специальной мельнице до однородного состояния, добавляют воду и перемешивают.

Затем куриные грудки подвешивают на специальные рамы и обсушивают в сушилке в течение 2 ч при температуре 60 °С. Продукт упаковывают в газовой среде и направляют на реализацию. Срок хранения 30 суток с момента выработки.

Заключение: обработка филе цыпленка-бройлера электрохимически активированным водным раствором оксидантов с ОВП +800±100 мВ обеспечивает соответствие микробиологических показателей требованиям ТР ТС 021/2011 "О безопасности пищевой продукции" (с изменениями на 8 августа 2019 года), полностью сохраняются заявленные органолептические показатели качества готового продукта.

Подписи членов комиссии:

Директор по производству «МПЗ «Москворецкий»

Инженер по качеству «МПЗ «Москворецкий»

Доцент кафедры индустрии питания,  
гостиничного бизнеса и сервиса МГУПП, к.т.н.Магистрант кафедры индустрии питания,  
гостиничного бизнеса и сервиса МГУПП


Щербакова В.М.

Суворов О.А.

Белова Ю.М.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ»

«УТВЕРЖДАЮ»  
Проректор по учебно-воспитательной работе  
Бибудатова А.А., к.т.н., доцент  
2022

**АКТ О ВНЕДРЕНИИ**

в учебный процесс подготовки бакалавров и магистров по направлению  
«Технология продукции и организация общественного питания» и направлению «Продукты  
питания из растительного сырья» Института пищевых систем и здоровьесберегающих  
технологий МГУПП материалов диссертации на соискание ученой степени доктора  
технических наук по специальности 05.18.15 - Технология и товароведение пищевых продуктов  
функционального и специализированного назначения и общественного питания  
**доцента, к.т.н. Суворова О.А.**

Мы, нижеподписавшиеся, директор института пищевых систем и здоровьесберегающих технологий МГУПП, д.т.н., профессор Стрелюхина А.Н., заведующий кафедрой индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса МГУПП, к.т.н., доцент Кусова И.У., заведующий кафедрой зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий МГУПП, д.т.н., профессор Лабутина Н.В. и доцент кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса МГУПП, к.т.н., доцент Суворов О.А. составили настоящий акт о том, что материалы диссертационной работы на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.15 - Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания к.т.н., доцента Суворова О.А. используются в учебном процессе, в лекционных курсах, при проведении лабораторных и практических занятий, в курсовом проектировании по дисциплинам «Основы научных исследований», «Учебно-исследовательская работа», «Технология инновационной продукции общественного питания», «Методологический семинар», «Системный анализ в индустрии питания», при проведении производственной практики (НИР) в рамках подготовки бакалавров и магистров, обучающихся по направлению «Технология продукции и организация общественного питания» и направлению «Продукты питания из растительного сырья».

Материалы научно-исследовательской работы соискателя реализованы в рамках содействия непрерывному образованию учителей и образовательных мероприятий для школьников 7-11 классов, студентов колледжей Департамента образования и науки города Москвы («Университетская среда для учителей», технологический профиль: соглашения № 87 от 25.06.2018, № 81 от 06.06.2019, «Университетские субботы»: соглашения № 72 от 19.05.2017, № 145 от 06.08.2019).

Директор института ПСЗТ, д.т.н., профессор

Заведующий кафедрой ИПГБС, к.т.н., доцент

Заведующий кафедрой ЗХКТ, д.т.н., профессор

Доцент кафедры ИПГБС, к.т.н., доцент

Стрелюхина А.Н.

Кусова И.У.

Лабутина Н.В.

Суворов О.А.



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
 «МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ»

  
 «УТВЕРЖДАЮ»  
 Проректор по научной работе  
 Щетинин М.П., д.т.н., профессор  
 07 2020

**АКТ О ВНЕДРЕНИИ**

в процесс подготовки выпускных квалификационных работ бакалавров и диссертаций магистров по направлению «Технология продукции и организация общественного питания» и направлению «Продукты питания из растительного сырья», диссертаций по направлению подготовки кадров высшей квалификации «Промышленная экология и биотехнологии» Института пищевых систем и здоровьесберегающих технологий МГУПП материалов диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.15 - Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания **доцента, к.т.н. Суворова О.А.**

Мы, нижеподписавшиеся, директор института пищевых систем и здоровьесберегающих технологий МГУПП, д.т.н., профессор Стрелюхина А.Н., заведующий кафедрой индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса МГУПП, к.т.н., доцент Кусова И.У., заведующий кафедрой зерна, хлебопекарных и кондитерских технологий МГУПП, д.т.н., профессор Лабутина Н.В. и доцент кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса МГУПП, к.т.н., доцент Суворов О.А. составили настоящий акт о том, что материалы диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.15 - Технология и товароведение пищевых продуктов функционального и специализированного назначения и общественного питания к.т.н., доцента Суворова О.А. используются при подготовке выпускных квалификационных работ научно-исследовательского характера, диссертационных работ магистров и кадров высшей квалификации.

Отдельные результаты работы 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» в рамках ФЦП «Развитие инфраструктуры нанондустрии в Российской Федерации на 2008-2011 годы» (2010-2011гг.), №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» (2012г.), №4.8611.2013 «Разработка, исследование и анализ эффективности использования наноматериалов с биоцидными свойствами в хлебопекарной промышленности» (2013г.), №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 термолabileльных материалов, создание на их основе опытно-промышленного образца сушильного устройства для пищевой промышленности и прикладной биотехнологии» (2014г.); проектов в рамках Грантов Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых - кандидатов наук (рук. Суворов О.А.) №МК-5220.2014.4 «Обеспечение микробиологической безопасности продуктов питания различных сроков хранения при использовании нано- и криотехнологий» (2014-2015гг.), №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» (2016-2017гг.) и др. проектах.

Директор института ПСЗТ, д.т.н., профессор

 Стрелюхина А.Н.

Заведующий кафедрой ИПГБС, к.т.н., доцент

 Кусова И.У.

Заведующий кафедрой ЗХКТ, д.т.н., профессор

 Лабутина Н.В.

Доцент кафедры ИПГБС, к.т.н., доцент

 Суворов О.А.



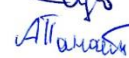
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "РЕАЛГРУПП"  
 ОГРН 1177746832493. ИНН 7743220538. КПП 774301001  
 125252, город Москва, улица Зорге, дом 28, корпус 1



**АКТ**  
**о внедрении результатов научной работы**  
**в производственный процесс**

- 1. Наименование предложения для внедрения:** научная разработка новых методов исследования и повышения биологической безопасности сырья, пищевых систем и готовых пищевых продуктов посредством электрохимически активированных растворов.
- 2. Кем предложена разработка:** доцент кафедры индустрии питания, гостиничного бизнеса и сервиса ФГБОУ ВО «МГУПП», к.т.н. Суворов О.А.; младший научный сотрудник лаборатории функциональной микроскопии биоструктур ИТЭБ РАН Панаит А.И.
- 3. Краткая аннотация разработки.** В производстве пищевой продукции широко применяются antimicrobial средства с целью предотвращения заражения на различных этапах трофологической цепи. Современные подходы в области санитарии при использовании электрохимически активированных водных растворов предусматривают применение нетепловых методов обеззараживания при переработке пищевого сырья, позволяющих избежать нежелательного эффекта термообработки, при дезинфекции оборудования и материалов. Результаты научной работы способствуют обеспечению биологической безопасности производства продуктов питания при использовании безвредных для человека, экологически чистых и высокоэффективных электрохимически активированных растворов.
- 4. Где и когда внедрено:** результаты исследования представляют практический интерес и внедрены в производственный процесс ООО "РеалГрупп" при следующих видах деятельности:
  - организация питания;
  - производство соковой продукции из фруктов и овощей;
  - производство готовых пищевых продуктов и блюд;
  - производство хлеба и мучных кондитерских изделий, тортов и пирожных недлительного хранения;
  - производство мучных кондитерских изделий, тортов, пирожных, пирогов и бисквитов, предназначенных для длительного хранения;
  - производство детского питания и диетических пищевых продуктов;
  - деятельность предприятий общественного питания по обслуживанию торжественных мероприятий;
  - производство продукции из мяса убойных животных и мяса птицы;
  - деятельность ресторанов и услуги по доставке продуктов питания.
- 5. Эффективность от внедрения:** повышение биологической безопасности производства пищевых продуктов с заданными качественными характеристиками и эффективности производственной деятельности ООО "РеалГрупп".

Заведующий производством ООО "РеалГрупп"  
 Доцент ФГБОУ ВО «МГУПП», к.т.н.  
 Младший научный сотрудник ИТЭБ РАН

 /Скляров Д.И./  
 /Суворов О.А./  
 /Панаит А.И./