

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I»

На правах рукописи

САРГСЯН МАРТИН АЛЕКСАНДРОВИЧ



**РАЗРАБОТКА СПОСОБА ОБОГАЩЕНИЯ ПШЕНИЧНОГО ХЛЕБА
КОМПОЗИЦИЕЙ ИЗ ЦИНКА, ИММОБИЛИЗОВАННОГО НА ХИТОЗАНЕ**

Специальность: 4.3.3. Пищевые системы

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:
кандидат технических наук, доцент
Белокурова Елена Владимировна

Воронеж 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	11
1.1 Важность обогащения продуктов питания в рамках решения проблемы «скрытого голода».....	11
1.2 Распространенность дефицита микроэлементов на территории РФ..	15
1.3 Направления и практическая реализация методов обогащения хлебобулочных изделий.....	22
1.4 Биополимерные носители как основа обогащающей композиции....	32
1.5 Изучение рынка обогащенных хлебобулочных изделий в разрезе региона.....	36
ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	45
2.1 Организация работы и схема проведения эксперимента.....	45
2.2 Сырье и методы его исследования.....	48
2.3 Методы исследования состава, свойств и показателей качества сырья, обогащающей композиции и готовых изделий.....	49
2.4 Математические методы обработки результатов исследований.....	57
ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ОБОГАЩАЮЩЕЙ ПИЩЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ХИТОЗАНА И ЦИНКА.....	58
3.1 Обоснование применения хитозана в качестве носителя эссенциального элемента.....	58
3.2 Определение оптимальных условий закрепления цинка на поверхности хитозана.....	62
ГЛАВА 4. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОГАЩАЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	70
4.1 Исследование технологических свойств обогащающей композиции	70
4.2 Исследование влияния обогащающей композиции на физико-	

	химические и органолептические свойства хлеба.....	80
4.3	Маркировка готовых изделий и рекомендации по их применению...	88
4.4	Оценка хранимоспособности готовых изделий.....	91
4.5	Оценка функциональной эффективности и биологической безопасности обогащенного хлеба.....	93
	ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ОТПУСКНОЙ ЦЕНЫ ОБОГАЩЕННОГО ХЛЕБА ЗАБАЙКАЛЬСКОГО.....	109
	ВЫВОДЫ.....	113
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	115
	ПРИЛОЖЕНИЕ 1	148
	ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	152
	ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	154
	ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	166
	ПРИЛОЖЕНИЕ 5.....	170
	ПРИЛОЖЕНИЕ 6.....	171

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Получить необходимые для поддержания работоспособности всех систем организма человека незаменимые пищевые вещества можно только с пищей. В частности, к незаменимым относится по меньшей мере 15 химических элементов, дефицит которых оказывает патологическое воздействие на здоровье. Развитию заболеваний, связанных с недостатком эссенциальных элементов, способствует длительный и регулярный дисбаланс потребляемых нутриентов. Проблема «скрытого голода», охватывающая широкие слои населения, возникает по причине множества факторов, включая особенности пищевого поведения людей. К примеру, рацион, состоящий в первую очередь из мучных и хлебобулочных изделий массового спроса, не богатых по-своему нутриентному составу, может стать одной из причин развития дефицитных состояний. Не безосновательно «Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года» учитывает важность обеспечения населения полноценным питанием и ориентирована на повышение качества жизни населения путем стимулирования развития производства и обращения на рынке пищевой продукции надлежащего качества. Закономерно, что для обеспечения потребителя продуктами, удовлетворяющими принципам рационального и сбалансированного питания, целесообразно использование привычных и распространенных рецептур с применением новых сырьевых источников позволяющих повысить исходную пищевую и биологическую ценность готовых изделий. Таким образом, остается актуальным поиск новых сырьевых источников, доступных по своему происхождению, не оказывающих негативного влияния на технологический процесс производства, и соответствующих заданным требованиям по химическому составу.

Обогащение хлебобулочных изделий, традиционно входящих в основу рациона большинства народов, является перспективным направлением, так как для наиболее эффективной профилактики дефицита эссенциальных

микроэлементов и улучшения общего состояния здоровья широких слоев населения, рациональное использование функциональных изделий, входящих в перечень минимального продуктового набора. В свою очередь, применение компонентов, содержащих тщательно выверенное количество дефицитного элемента позволяет избежать ряда проблем, возникающих при единовременном комплексном обогащении пищи множеством нутриентов. На территориях с выявленным и зафиксированным распространенным дефицитом рационально применение обогатителей, нацеленных на фортификацию изделий конкретным эссенциальным элементом. В таком случае элементы, которыми необходимо обогащать продукты питания, возможно внедрять в технологический процесс приготовления продукции закрепленными на поверхности допустимых к применению в пищевой промышленности биополимерных носителей. К их числу относятся: целлюлоза, хитозан, коллаген, агароза, кератины, пектиновые вещества и другие. Влияние, оказываемое вносимыми элементами на процесс формирования готового изделия, позволяет сделать их объектом исследований в области обогащенных продуктов питания для групп населения, страдающих от дисбаланса эссенциальных элементов. Изучение данного вопроса позволяет компенсировать недостаток работ о применении в пищевой промышленности нетрадиционных сырьевых источников, в частности, перспективного и легко восполняемого хитозана.

Работа проводилась в соответствии с планом госбюджетных исследований кафедры товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I «Разработка технологий и рецептур обогащенных продуктов посредством применения ингредиентов растительного и животного происхождения».

Степень разработанности темы исследования. Существенный вклад в разработку технологий обогащенных продуктов питания, в частности хлебобулочных изделий внесли Т. Б. Цыганова, С. Я. Корячкина, В. А. Тутельян, Л. П. Пащенко, Н. М. Дерканосова, Т. В. Санина, Л. И. Пучкова, Г. О. Магомедов, М. К. Садыгова, В. И. Позняковский, Л. Н. Шатнюк, В. Б. Спиричев и другие. В

свою очередь, среди отечественных и зарубежных учёных, внесших вклад в изучение применения хитозана в пищевой промышленности, можно выделить: В. П. Быкова, В. М. Быкову, А. И. Албулова, В. П. Варламова, А. А. Muzzarelli, S. M. Hudson, M. Rinaudo и А. Moeini. В тоже время, основной упор в исследованиях по применению пищевого хитозана направлен на рецептуры мясных, кисломолочных, хмельных, кондитерских изделий. Среди авторов существующих работ, нацеленных на применение хитозана в хлебопечении, можно выделить А. Г. Ткаченко, Н. В. Лабутину, Г. Г. Кадрматову, А. Н. Новикову и И. Н. Пушмину. На данный момент, применение хитозана в хлебопечении ограничивается использованием непосредственно самого аминополисахарида в качестве функционального агента, с целью влияния на реологию теста изделия и прочие технологические характеристики.

Однако, не исследованными остаются зависимости влияния применения хитозана в качестве носителя функционального компонента на технологические свойства муки пшеничной хлебопекарной и качество готовых хлебобулочных изделий. По этой причине, проведение исследований в данном направлении позволит обосновать применение пищевых обогащающих композиций на основе хитозана для расширения рынка функциональных хлебобулочных изделий с заданным составом и свойствами.

Цель и задачи исследования. Целью работы является научно-практическое обоснование технологии обогащения пшеничного хлеба посредством внесения композиции иммобилизованного на хитозане цинка

В соответствии с поставленной целью решались следующие задачи:

1. Проведение патентно-информационного поиска, в частности, анализ распространенности дефицита эссенциальных микроэлементов среди населения, выделение регионов, наиболее подверженных риску развития микроэлементозов, изучение ассортимента рынка хлебобулочных изделий, выбор оптимальной для обогащения рецептуры;

2. Разработка технологии обогащающей пищевой композиции путем иммобилизации цинка на поверхности выбранного носителя;

3. Изучение влияния обогащающей композиции на технологические и физико-химические свойства тестовых заготовок и готовых изделий;

4. Оценка функциональной направленности и безопасности хлебобулочного изделия, изготовленного с применением разработанной композиции.

5. Определение показателей пищевой, биологической и энергетической ценности разработанного хлебобулочного изделия, степени удовлетворения суточной потребности организма в применяемом обогащаемом эссенциальном элементе для широкого круга потребителей;

6. Разработка нормативных документов на композицию из хитозана и цинка и обогащенного ей хлебобулочного изделия, расчет технико-экономических показателей и проведение опытно-промышленной апробации.

Научная новизна. Проведена комплексная оценка функционального и технологического потенциала обогащающей композиции из хитозана и цинка:

– научно обоснована технология производства пищевой композиции путем иммобилизации ионов цинка на поверхности хитозана, определены параметры процесса для эффективного закрепления эссенциального элемента (п.13 паспорта специальности ВАК РФ 4.3.3);

– изучено влияние готовой композиции на процессы созревания теста, включая газообразующую и газодерживающую способность, а также на рост числа клеток дрожжей и молочнокислых бактерий (п.11 паспорта специальности ВАК РФ 4.3.3);

– установлены закономерности биотехнологических процессов формирования качества обогащенного хлеба, зафиксировано влияние пищевой композиции на пористость, кислотность и хранимоспособность готовых изделий (п.11 паспорта специальности ВАК РФ 4.3.3);

– установлено влияние пищевой композиции на физиологическое состояние лабораторных животных, локализацию цинка в аккумулирующих его органах и процессы метаболизма углеводов (п.17 паспорта специальности ВАК РФ 4.3.3);

– дано научное обоснование и экспериментальное подтверждение целесообразности применения композиции из хитозана и цинка при производстве обогащенного хлеба (п.11 паспорта специальности ВАК РФ 4.3.3).

Практическая значимость работы. Практическая значимость работы заключается в разработке и экспериментальном обосновании технологических решений производства хлебобулочных изделий из пшеничной муки с внесением обогащающей пищевой композиции.

Исследованы технологические характеристики обогащающей композиции в рецептурном составе.

Определены оптимальные дозировки вносимой обогащающей композиции, способные удовлетворить суточную потребность в эссенциальном элементе и оказывающие положительное влияние на качество готового хлеба.

Практическая значимость работы подтверждена патентами: RU 2 837 403 C1, от 12.07.2024, Способ получения пищевой композиции для профилактики дефицита цинка; RU 2 839 957 C1, от 04.10.2024, Способ приготовления обогащенного цинком хлеба.

Реализация результатов работы. Разработана техническая документация: ТУ №10.61.22-012-00492894-2024, ТУ 10.61.22-005-00492894-2025. Опытно-промышленная апробация результатов исследований проводилась на предприятиях АО «Тобус» (г. Воронеж), НУПЦТИГ ФГБОУ ВО «ВГУИТ» (г. Воронеж), ООО «Эдди» (с. Новая Усмань).

Положения, выносимые на защиту:

- экспериментальное обоснование способа получения обогащающей композиции путем иммобилизации эссенциального элемента на поверхности выбранного носителя;
- теоретическое и экспериментальное обоснование способа приготовления и рецептурного состава обогащенного хлеба, данные комплексной оценки свойств теста и оценки готовых изделий;
- экспериментальное обоснование функционально-технологической направленности обогащающей композиции в составе хлебобулочных изделий;

- результаты оценки усвояемости, безопасности и влияния обогащающей композиции на технологические и потребительские свойства хлебобулочных изделий;
- результаты исследования физико-химических и органолептических показателей обогащенного хлеба;
- данные анализа технико-экономических показателей применения обогащающей композиции при производстве хлебобулочных изделий.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов исследований подтверждена проведением экспериментальной части работы согласно Межгосударственным и Национальным стандартам. Применены современные методы исследований и аналитические приборы. Обработка экспериментальных данных осуществлялась с использованием пакета прикладных программ MS Windows и Statistica.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертации докладывались и обсуждались на всероссийских и международных конференциях: 6-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых «Молодежь и наука: шаг к успеху» (МТО-62) (г. Курск, 2022), III Международном форуме «Молодежь в АПК» (г. Ростов-на-Дону, 2022), IX, X, XI Международной научно-технической конференции «Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение» (г. Воронеж, 2022, 2023, 2024), III-й Международной научно-практической конференции «Перспективные технологии продуктов питания на зерновой основе: функциональность, безопасность, качество» (г. Москва, 2024), IV Международной конференции «Биомониторинг в Арктике – 2024» (г. Архангельск, 2024).

Разработки экспонировались на VIII Всероссийском молодежном научном форуме «Наука будущего - наука молодых» (г. Орел, 2023), 25-й Российской агропромышленной выставке «Золотая осень – 2023» (г. Москва, 2023), VIII, IX Международной выставке изобретений и инноваций имени Николая Гавриловича Славянова (г. Воронеж, 2023, 2024).

Работы, апробированные в рамках международных, всероссийских и студенческих конференций и выставок, награждены дипломами, представленными в приложении 1.

Публикации результатов работы. Основное содержание работы представлено в 24 научных трудах, в том числе 7 статьях в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статье, индексируемой в базе данных Scopus и 2 патентах РФ на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, аналитического обзора литературы, экспериментальной части, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 172 страницах основного текста, содержит 6 приложений, иллюстрирована 28 рисунками и 20 таблицами. Список литературы включает 225 наименований, в том числе 72 иностранных источника.

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Важность обогащения продуктов питания в рамках решения проблемы

«скрытого голода»

Проблема массового голода в современном мире не затрагивает большинство развивающихся и развитых стран. Однако, это вовсе не означает, что человечеству удалось победить голод окончательно. Так, в совместном докладе ФАО (Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций) и прочих организаций ответственных за исследования в области продовольственной безопасности утверждается, что в 2022 году с проблемой голода столкнулись в общей сложности на 122 миллиона человек больше, чем в 2019 году. На распространенность голода оказали влияние экономическая нестабильность развивающихся государств, особенности биогеохимических провинций, а также последствия пандемии, обострения повторяющихся погодных потрясений и разгорающихся конфликтов. Несмотря на то, что за последние годы отмечена тенденция на снижение роста числа голодающих в мире, во многих странах продовольственные кризисы продолжают усугубляться. Так, по состоянию на 2022 год в Азии и Латинской Америке наблюдался прогресс в борьбе с голодом, но, в тоже время, в Западной Азии, Карибском бассейне и во всех субрегионах Африки масштабы голода продолжают расти. В частности, каждый пятый житель Африки страдает от голода, что превышает среднемировой показатель более чем в два раза. Помимо прочего, нерешенность проблемы массового голода в мире позволяет открыть глаза и на распространенность «скрытого голода» среди населения земли. К примеру, в 2021 году доступ к полноценному и сбалансированному питанию не могли себе позволить более 3,1 миллиарда человек, что составляло 42% от населения планеты и на 134 миллиона превышало аналогичные значения за 2019 год. Данная проблема охватывает широкие слои населения, к примеру, в 2022 году зафиксировано отставание в росте у 148 миллионов детей в возрасте до пяти лет, в частности вызванное неполноценным питанием. При этом порядка 45 миллионов детей страдали от истощения, а избыточный вес имело 37 миллионов

[171,172,173]. Продолжающие возникать международные вызовы побуждают системы продовольственной безопасности развиваться и адаптироваться к глобальным изменениям, которые могут стать причиной дефицита разнообразия пищевой продукции среди населения.

К обстоятельствам, способствующим распространению «скрытого голода», характеризующегося регулярным дисбалансом основных питательных веществ в рационе, относят: особенности региональных условий произрастания сырьевых компонентов, влияние антропогенного воздействия на экосистему, состояние водоснабжения и уровня обеспеченности потребителя, а также распространение обусловленных социальными, экономическими или религиозными причинами несбалансированных диет. Помимо прочего, возобновляемость глобальных кризисов, возникновение пандемий, введение санкций и продовольственного эмбарго можно отнести к негативным факторам, оказывающим влияние на решение проблем, связанных с неполноценным питанием [9, 148]. Неблагоприятные итоги протекания беременности, прогрессирование тяжелых психических заболеваний, развитие нарушений работоспособности эндокринной и сердечно-сосудистой системы имеют связь с недостатком в рационе наиболее важных компонентов пищи [161, 162, 209]. Немаловажно, что даже переизбыток может способствовать потере эссенциальных элементов, в частности железа [208]. В тоже время, нельзя забывать о влиянии экономического неравенства, социальных и культурных предубеждений на формирование неполноценного рациона питания среди населения [156, 211]. По итогу, длительная и систематическая несбалансированность в потреблении жизненно необходимых нутриентов способствует развитию патологических состояний, в том числе обусловленных дефицитом витаминов и микроэлементов.

Глобальная проблема «скрытого голода» охватывает, согласно оценкам по состоянию на 2021 год, более двух миллиардов человек во всем мире, с потенциальным ростом данного значения к 2030 году, фиксируется как в развитых, так и в развивающихся странах, наиболее часто затрагивая граждан с низким и средним уровнем дохода, по причине зависимости населения от

недорогих основных продуктов питания способных к обеспечению энергетической потребности, но не дающих необходимого нутриентного разнообразия [187, 222]. Согласно данным систематических обзоров и мета-анализов, посвященных вопросам «скрытого голода», наиболее распространены дефициты следующих нутриентов: железо, йод, цинк, витамины группы А, D и В₁₂. Закономерно, авторами исследований отмечается связь отсутствия или слабой развитости систем продовольственной безопасности и распространенности разного рода дефицитов, что подчеркивает важность инвестирования в диагностику состояния здоровья населения и изменения сложившейся ситуации с алиментарными заболеваниями во всех возрастных группах [157, 170, 175, 195, 213, 215]. Однако, имеющихся данных все еще недостаточно для подведения всеобъемлющих итогов о частоте возникновения того или иного рода дефицитов по всему миру. Затруднения в оценке возникают, в частности, по причине слабой развитости системы регулярных региональных биомониторинговых исследований населения и особенностей биогеохимических провинций произрастания сырьевых источников.

Повышение оценки качества изготавливаемой продукции, биофортификация выращиваемых культур, управление ростом урожая, в том числе с применением современных методов в области биотехнологий и генной инженерии, информирование граждан о важности рационального и сбалансированного питания, диверсификация наиболее востребованных продуктов, в том числе их обогащение, все перечисленное является неотъемлемой частью поиска способа улучшения степени удовлетворенности всех слоев населения в жизненно необходимых нутриентах, что имеет решающее значение для достижения целей ликвидации голода в любой форме, обеспечения продовольственной безопасности и содействия устойчивому развитию сельского хозяйства [160, 185].

Необходимо отметить, что особенности пищевого поведения, вне зависимости от причины их формирования, могут оказывать существенное влияние на обеспеченность потребителя в жизненно необходимых нутриентах. К

примеру, рацион, богатый исключительно злаковыми продуктами, в особенности произведенными путем удаления оболочек и зародыша, способствует развитию дефицита белка и ряда витаминов, что в свою очередь является фактором риска возникновения таких заболеваний как пеллагра, квашиоркор, рахит и прочих. Идентично, распространенность микроэлементозов, в частности повышается в случае длительного употребления бедных на микронутриентный состав продуктов. В ячмене, рисе и пшенице может наблюдаться низкое содержание усвояемого железа, цинка и провитамина А [46], просо способно обеспечить организм усвояемыми углеводами, однако микроэлементный и аминокислотный состав в данном злаке не сбалансирован [160], диеты в основу которых входит кукуруза страдают от нехватки цинка, провитамина А и витамина Е [197]. Частично проблему бедного нутриентного состава решает обогащение данных культур в процессе роста, однако, ввиду сложности массового распространения методов биофортификации среди мировых зерновых компаний, наиболее распространено применение обогащающих компонентов в процессе обработки и приготовления продукции [167, 192, 201].

Обогащение хлебобулочных изделий, являющихся традиционной составляющей рациона большинства народов, представляет собой перспективное направление, поскольку способствует эффективной профилактике дефицита эссенциальных микроэлементов и улучшению общего состояния здоровья широких слоёв населения за счёт использования функциональных изделий, входящих в минимальный продуктовый набор. Повышение спроса к распространению региональных хлебопекарных предприятий, малых пищевых производств и интеграции хлебопечения в уже существующие предприятия общественного питания стимулирует развитие технологий обогащения хлебобулочных изделий непосредственно в процессе приготовления продукции. Влияние на актуализацию данных технологий также оказывает зависимость мукомольных предприятий от экспортного оборудования и незначительность количества функциональных продуктов на рынке хлебобулочных и мучных изделий [52, 55, 68, 151, 166].

Резюмируя вышеизложенное, обеспечение физиологических норм потребления жизненно необходимых нутриентов остается неотъемлемой задачей в управлении продовольственной безопасностью, в рамках реализации которой актуально обогащение дефицитными элементами изделий, составляющих минимальную продуктовую корзину.

1.2 Распространенность дефицита микроэлементов на территории РФ

Вопрос о принадлежности того или иного химического элемента к группе жизненно необходимых до сих пор побуждает ученых по всему миру к регулярному проведению широкого спектра исследований. На данный момент, биологически значимые элементы разделяют на группы макро- и микроэлементов. Среди макроэлементов выделяют, составляющие основу всех видов клеток, элементы органогены: кислород, углерод, водород и азот. К оставшемуся списку эссенциальных макроэлементов, содержание которых в организме составляет от сотых долей процента, относятся: кальций, фосфор, сера, калий, натрий, хлор, магний. Элементы, доля содержания в организме которых приходится до 0,05% в сумме, классифицируются как микроэлементы. Среди имеющих наиболее достоверное влияние на организм человека выделяют: железо, цинк, марганец, медь, молибден, йод, селен, кобальт [181, 189]. В многочисленных исследованиях также определяют эссенциальными следующие элементы: фтор, хром, ванадий, кремний, литий, бром, бор, никель [159, 194]. Данные элементы имеют либо ограниченное установленное влияние на некоторые системы органов, либо являются жизненно необходимыми для функционирования других эукариотов, однако, вопрос об их эссенциальности по отношению к человеку остается предметом обсуждения [22]. Необходимо помнить, что в превышающих суточную норму дозах потребления и эссенциальные элементы оказывают на здоровье потребителя негативное воздействие, потому, меры предпринимаемые для решения проблемы с распространенностью дефицитов рациональны только в регионах с установленным массовым недостатком

выбранных элементов среди населения. Стоит отметить, что влияние на уровень дефицита элементов у разных групп населения способны оказывать как сопутствующие образу жизни человека факторы, так и наследуемые и приобретаемые физиологические изменения. К примеру, отмечена взаимосвязь вегетарианской диеты с дефицитом йода, железа и реже цинка [216].

Поднимая вопрос дефицита элементов, нельзя не учесть влияние таких показателей, как уровень всасывания и скорость выведения. Так, предположительно, снижается вероятность возникновения дефицита элементов, обладающих коэффициентом всасывания в значениях больше 80 % [24]. Однако, к примеру, йод, характеризующийся высоким значением всасывания в организме, остается одним из наиболее часто фиксируемых дефицитных эссенциальных элементов, что может свидетельствовать о низком потреблении указанного нутриента с пищей и водой в целом, вне зависимости от степени его усвоения в ЖКТ. Слабая всасываемость в желудочно-кишечном тракте отмечается одной из потенциальных причин дефицита селена, цинка, меди, кальция, магния, железа. С другой стороны, низкие значения коэффициента всасывания ряда потенциально токсичных металлов (стронция, свинца, кадмия, сурьмы, серебра), а также алюминия или бериллия сокращают вероятность избыточного поступления в организм данных элементов, в то время как высокая всасываемость мышьяка и бора напротив, увеличивает вероятность отравления ими. В повседневной жизни крайне низкое всасывание серебра и алюминия является гарантией безопасности организма при использовании алюминиевой посуды или применении препаратов, изготовленных с использованием коллоидного серебра [128].

Высокая скорость выведения элемента, при параллельном снижении поступления его извне является фактором, способствующим развитию микроэлементозов, что повышает важность регулярного потребления эссенциальных элементов, интенсивно выводящихся из организма. К таковым можно отнести йод, кобальт, селен, марганец, медь. Нехватка перечисленных элементов в рационе особенно ощутима из-за скорой их потери в процессе жизнедеятельности организма. С другой стороны, ускоренное выведение

позволяет обезопасить организм от избытка таких токсичных элементов как таллий, бор и мышьяк [79].

Ввиду разрозненности имеющихся на данный момент данных, а также принимая в учет особенности биогеохимических провинций, затруднительным представляется формирование глобальной карты локализации дефицитов элементов. Однако, выделяя список наиболее недостающих в питании человека элементов, можно отметить: железо, йод, цинк, селен, магний, кальций, медь [163, 168, 200, 214].

Важно учесть, что отмеченные выше данные закономерны в первую очередь ввиду распространенности исследований направленных на выявления дефицитов непосредственно указанных ранее микроэлементов и потому не способны продемонстрировать реальную значимость разработки методов обогащения пищевой продукции выбранными элементами на территории Российской Федерации. С целью формирования актуальной картины распространенности дефицитов микроэлементов, собраны данные отечественных исследований, датирующихся не ранее чем 2022 годом.

Отбросив результаты косвенных исследований, анализов состояния воды и почвы, продуктов питания, а также теряющие актуальность данные элементного статуса населения, датируемые ранее 2022 года, удалось собрать информацию о современном состоянии содержания эссенциальных элементов в организме широких слоев здорового населения.

Поиск литературы проводился в базах данных PubMed, Google Scholar, а также в имеющих открытый доступ электронных библиотеках Национальной электронной библиотеке eLIBRARY.RU и CyberLeninka. Осуществлялся поиск терминов, таких как: (дефицит микроэлементов ИЛИ дефицит микронутриентов ИЛИ микроэлементоз ИЛИ элементный статус) и (население ИЛИ граждане ИЛИ здоровое население ИЛИ жители) и (Россия ИЛИ Российская Федерация). Ввиду важности обогащения продуктов питания лишь в регионах с выявленным и распространенным дефицитом микроэлементов, поиск был ограничен актуальными исследованиями, опубликованными в период с 2022 по 2024 год.

Повторяющиеся публикации были выявлены и устранены вручную, после чего фиксировались оставшиеся заголовки и аннотации в форме таблицы при помощи Microsoft Excel. В ходе проведения информационного поиска были выявлены следующие критерии приемлемости публикации:

- исследование содержало данные распространенности дефицитов элементов среди здоровых групп населения;
- исследуемые проживали на территории РФ;
- результаты представляли собой анализ полученных проб биоматериалов человека, исключая косвенную установку диагноза по составу потребляемой пищи, состоянию экологии, чистоте почвы, питьевой воды и прочего.

Исключались работы, нацеленные на изучение животных, младенцев (в возрасте до 1 года) и групп пациентов, проходящих стационарное или амбулаторное лечение на момент отбора биопроб.

В результате поиска по указанным терминам идентифицировано 772 публикации, из них: PubMed, $n = 25$; Google Scholar, $n = 239$; eLIBRARY.RU, $n = 296$; и CyberLeninka, $n = 212$. После удаления дубликатов ($n = 458$), названия оставшихся 314 статей повторно оценены на соответствие критериям, в результате чего 198 из них была исключена, а аннотации оставшихся 116 статей были проанализированы, и 90 статей были исключены. После проведенной итоговой оценки из оставшихся 21 статья была отобрана для формирования наиболее актуальной карты распространенности дефицитов микроэлементов среди населения, 5 статей для формирования общей картины, в частности на территориях регионов, где практически отсутствовала информация о элементном статусе населения.

В пределах изучаемого периода опубликованы результаты исследований по 18 субъектам РФ, что составляет менее одной пятой доли от их общего числа. Одновременно с тем отмечается гомогенность методов пробоподготовки, в тоже время гетерогенность методов анализа и неоднородный состав выборок населения (от 51 до 5857 человек в возрасте от 8 до 80 лет).

Фиксируемые дефициты отмечались с опорой на референсные значения содержания микроэлементов в объектах исследований указанные самими авторами публикаций, ввиду особенности методов анализа и применяемого оборудования.

На территории Центрального федерального округа (ЦФО) по данным, прошедших отбор статей собрана информация о состоянии элементного статуса жителей Московской (г. Москва), Тверской (г. Тверь) и Ярославской (г. Ярославль) областей. В пределах указанных субъектов отмечается дефицит кобальта параллельно избытку калия, фосфора и цинка для Московской области, избыток железа у жителей Тверской области, а также дефицит меди и цинка параллельно избытку железа для Ярославской области [64, 103, 137].

На территории Северо-Западного федерального округа (СЗФО) по данным, прошедших отбор статей собрана информация о состоянии элементного статуса жителей Вологодской (г. Вологда) и Ленинградской (г. Санкт-Петербург) областей, а также населения Республики Карелия и Ненецкого автономного округа. В пределах указанных субъектов отмечается дефицит меди и цинка для Вологодской области, дефицит йода, селена, цинка, кальция, магния для жителей Ленинградской области, дефицит калия, магния, цинка среди жителей Республики Карелия, а также дефицит йода и железа среди жителей Ненецкого автономного округа [71, 132, 137, 150, 204, 205].

На территории Приволжского федерального округа (ПФО) по данным, прошедших отбор статей собрана информация о состоянии элементного статуса жителей Саратовской (г. Саратов) области и Республики Башкортостан (г. Уфа). В пределах указанных субъектов отмечается дефицит йода, калия, натрия, магния, фосфора, цинка, меди, марганца, кобальта в разной степени распространенный среди детей, проживающих в пределах Саратовской области, а также дефицит меди и цинка для жителей Республики Башкортостан [8, 17].

На территории Уральского федерального округа (УрФО) по данным, прошедших отбор статей собрана информация о состоянии элементного статуса жителей Тюменской (г. Тюмень) области и Ямало-Ненецкого автономного округа.

В пределах указанных субъектов отмечается дефицит селена для Тюменской области и дефицит кальция, цинка, йода, магния, селена параллельно избытку железа, обнаруживаемому среди детей, проживающих в пределах Ямало-Ненецкого автономного округа [82, 126].

На территории Сибирского федерального округа (СФО) по данным, прошедших отбор статей собрана информация о состоянии элементного статуса жителей Красноярского края (г. Красноярск). В пределах указанного субъекта отмечается дефицит кобальта параллельно распространенному избытку кальция, калия, цинка и фосфора [102].

На территории Дальневосточного федерального округа (ДФО) по данным, прошедших отбор статей собрана информация о состоянии элементного статуса жителей Магаданской (г. Магадан) области, Хабаровского края (г. Хабаровск, г. Амурск), Чукотского автономного округа, Республики Саха (Якутия) и Сахалинской области. В пределах указанных субъектов отмечается дефицит кобальта, меди, магния, марганца, селена, цинка параллельно избытку калия и натрия для жителей Магаданской области, дефицит селена, молибдена параллельно избытку цинка, железа марганца для жителей Хабаровского края, дефицит кобальта, магния, хрома, йода, селена среди коренного населения Чукотского автономного округа, дефицит меди, йода, селена, цинка параллельно избытку марганца у населения Республики Саха (Якутия), а также дефицит железа, цинка, йода параллельно избытку кобальта для Сахалинской области [29, 61, 101, 104, 118, 133].

На территории Южного федерального округа (ЮФО) по данным, прошедших отбор статей собрана информация о состоянии элементного статуса жителей Ростовской области. В пределах указанного субъекта отмечен дефицит меди, цинка и йода [27, 69].

Среди прошедших отбор публикаций не обнаружено актуальных данных о элементном статусе жителей Северо-Кавказского федерального округа (СКФО). Для приблизительной оценки взяты данные из статей, несущих обзорный характер. В используемых статьях собраны данные в интервале от 5 до 10 лет по

ряду регионов, включая СКФО. Среди отмечаемых дефицитов в данном регионе указывают недостаток йода и цинка [11, 44, 76, 127, 183].

В работах, посвященных анализу элементного статуса населения Российской Федерации, отмечается широкий пробел в актуальных данных способных продемонстрировать реальное состояние жителей отдельных регионов. К тому же, размеры РФ затрудняют проведение крупного общенационального исследования распространенности дефицитов, в следствии чего наибольшей востребованностью обладают проекты, направленные на мониторинг отдельных административно-территориальных единиц. Для объективного картирования значений состояния элементного статуса населения всех регионов РФ необходимо проведение исследований в области недостающих на данный момент сведений, с соблюдением достаточности выборочных совокупностей и предоставлением четкой используемой методологии изучения. На рисунке 1.1 отмечены макрорегионы с зафиксированным дефицитом Zn, I, Cu.



Рисунок 1.1 – Федеральные округа РФ с зафиксированным дефицитом Zn, I, Cu

Опираясь на собранные наиболее релевантные сведения, можно сделать вывод о высокой распространенности на территории РФ дефицитов следующих элементов: цинка, йода и меди. Так дефицит цинка отмечен в 7 макрорегионах, объединяющих субъекты РФ, дефицит йода в 6 макрорегионах, дефицит меди в 5 макрорегионах. Информация о дефицитах прочих эссенциальных элементов затрагивает меньше половины федеральных округов, что может быть обусловлено нехваткой актуальных данных, либо отсутствием выхода за пределы референсных значений. Для наиболее объективной оценки необходим отбор данных о элементном статусе жителей неисследованных в последние годы регионов.

Внедрение новых функциональных продуктов питания рационально в первую очередь с упором на имеющиеся современные данные о значениях дефицита микроэлементов у населения выбранного региона. Стоит помнить, что, обогащение представляет собой важный, однако не единственный механизм решения проблемы распространенности дефицитов питательных веществ, и в случае выявленного острого недостатка эссенциальных микроэлементов в организме человека необходимо своевременное принятие комплексных мер, в частности, консультации врача для исключения генетических и физиологических причин возникновения микроэлементозов [109, 177, 181].

1.3 Направления и практическая реализация методов обогащения хлебобулочных изделий

Обеспеченность населения Российской Федерации полноценным и сбалансированным питанием является приоритетным направлением в политике страны. Разработка функциональных продуктов питания (ФПП) остается значимым методом практической реализации задачи по укреплению здоровья граждан [23].

Хлебопекарная отрасль составляет существенную долю рынка пищевой продукции и относится к ведущим сферам агропромышленного комплекса в целом. С 2020 года наблюдается умеренная стагнация в объемах производства

хлебобулочных изделий, в особенности продукции недлительного хранения. В то же время, отмечается рост производства полуфабрикатов, а также продукции с повышенной питательной и биологической ценностью, к примеру хлеба, с дополнительными источниками клетчатки или обогащенного рядом витаминов. Стоит отметить, что несмотря на незначительное снижение среднедушевого потребления хлеба, данный продукт по-прежнему остается важной частью минимальной потребительской корзины граждан, а хлебопечение продолжает оставаться развиряющейся сферой пищевой промышленности [59]. Тенденция к распространению региональных малых пищевых предприятий, в частности – пекарен, способствует росту ассортимента выпускаемой продукции, а также применению в производстве новых нетрадиционных сырьевых источников [120]. Влияние на ассортимент рынка хлебобулочных изделий оказывает спрос потребителей в товарах с улучшенными вкусовыми свойствами при сравнительно невысокой стоимости самой продукции. Развитие пекарен в формате сетевого ритейла, рост требований к увеличению срока хранения готовых изделий, а также возрастание спроса к продуктам функциональной направленности и новым товарным позициям в условиях меняющихся пищевых предпочтений населения вынуждают хлебопекарные предприятия регулярно совершенствовать стратегию своего развития [26].

Рецептуры мучных и хлебобулочных изделий, составляющие основную долю рынка, приготовленные с применением технологически удобной, но обедненной в процессе помола муки высшего сорта, зачастую, не соответствуют нормам рационального и сбалансированного питания. Изделия данных групп чаще представлены богатым источником углеводов и липидов, имея в то же время бедный микронутриентный и белковый состав.

Популяризация здорового образа жизни и распространение основ рационального питания рассматриваются в качестве факторов, оказывающих влияние на незначительное и плавное снижение объема производства распространенных на рынке хлеба и хлебобулочных изделий недлительного хранения, параллельно росту спроса на продукцию, обладающую повышенной

питательной и нутриентной ценностью, либо увеличенным сроком хранения [12]. Однако, рост интереса к ФПП, попутно с активным развитием исследований в данных направлениях сталкивается с необходимостью расширения имеющейся на современном рынке товарной линейки, страдающей ограниченностью доступного ассортимента [151]. Улучшение условий жизни, популяризация ответственного отношения к питанию и повышение численности граждан старше трудоспособного возраста позволяют прогнозировать увеличение ассортимента хлебобулочных изделий с учетом особенностей питания широких групп населения. В рамках модернизации устоявшихся рецептур и технологий приготовления ФПП необходимо учитывать также то, что, в виду использования дорогостоящего исходного сырья и усложнения производственного процесса, функциональные и специализированные изделия отличаются повышенной стоимостью. Взяв в учет рост общего количества, а также повышения популярности средних, малых и микропекарен последующая разработка компонентов применимых в приготовлении продуктов функциональной направленности должна вестись с оглядкой на минимизацию повышения исходной стоимости продукта, а также простоту внедрения готового сырья в существующий технологический процесс [81, 131].

Производство продукции с заданными функциональными свойствами регламентировано в соответствии с установленными межгосударственными стандартами. Так, согласно ГОСТ Р 52349-2005 «Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения» к функциональным пищевым продуктам относят - специальный пищевой продукт, предназначенный для систематического употребления в составе пищевых рационов всеми возрастными группами здорового населения, обладающий научно обоснованными и подтвержденными свойствами, снижающий риск развития заболеваний, связанных с питанием, предотвращающий дефицит или восполняющий имеющийся в организме человека дефицит питательных веществ, сохраняющий и улучшающий здоровье за счет наличия в его составе функциональных пищевых ингредиентов.

При этом обогащенный пищевой продукт – функциональный пищевой продукт, получаемый добавлением одного или нескольких функциональных пищевых ингредиентов к традиционным пищевым продуктам в количестве, обеспечивающем предотвращение или восполнение имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ и (или) собственной микрофлоры. В свою очередь, к функциональным пищевым ингредиентам относят: живые микроорганизмы, вещество или комплекс веществ животного, растительного, микробиологического, минерального происхождения или идентичные натуральным, входящие в состав функционального пищевого продукта в количестве не менее 15 % от суточной физиологической потребности, в расчете на одну порцию продукта, обладающие способностью оказывать научно обоснованный и подтвержденный эффект на одну или несколько физиологических функций, процессы обмена веществ в организме человека при систематическом употреблении содержащего их функционального пищевого продукта [30].

Для того, чтобы маркировать готовый продукт как «Источник микроэлементов» готовое изделие должно содержать не менее 15 % от суточной потребности в обогащаемых элементах на 100 г или для жидкостей на 100 см³ либо на одну порцию, если ее размер составляет менее 100 г или для жидкостей менее 100 см³. Маркировка «С высоким содержанием», в свою очередь, потребует наличие в составе изделия не менее 30 % от суточной потребности в обогащаемых элементах на 100 г или для жидкостей на 100 см³ либо на одну порцию, если ее размер составляет менее 100 г или для жидкостей менее 100 см³ [31].

С точки зрения обогащаемых компонентов имеющиеся технологии функциональных хлебобулочных изделий делят на два основных направления: технологии хлебобулочных изделий изготовленных с применением пищевых ингредиентов в соотношении до 30 % от общей массы муки (отрубей или компонентов богатых пищевыми волокнами, зернопродуктов, соевой муки и иных продуктов представляющих собой альтернативу муке, применяемой в исходной рецептуре) и технологии изделий обогащенных микронутриентами (витаминами,

эссенциальными микроэлементами, иными сырьевыми источниками имеющими богатый нутриентный состав) [144].

К основным методам обогащения широкого спектра пищевых продуктов относят биофортификацию исходного сырья в процессе роста и развития, а также внесение необходимых нутриентов на выбранных этапах процесса производства изделий. К классическим методам фортификации растительного сырья относят применение содержащих микроэлементы удобрений, вносимых либо непосредственно в почву, либо в качестве внекорневой подкормки растений [113]. Существуют работы, направленные на исследование генетической биофортификации, к примеру, трансгенез, к особенности которого относят гиперэкспрессию генов, ответственных за поглощение, транспорт и накопление микроэлементов в тканях растений, что в конечном итоге приводит к получению зерновых культур с повышенным содержанием необходимых элементов. Несмотря на перспективность агропромышленного направления, нацеленного на прижизненное обогащение хлебных злаковых культур, развивающегося с начала 2000-х годов путем применения методов генетического моделирования, в хлебопечении основу составляют способы обогащения изделий необходимыми нутриентами непосредственно в процессе производства продукции [34, 188]. Помимо зерна, биофортификация применима и к дрожжам, что представлено перспективным, однако, на данный момент, не развитым в промышленных масштабах направлением [152].

В настоящее время, существует ряд устоявшихся технологий обогащения хлеба и хлебобулочных изделий. К ним относятся: обогащение муки на мельзаводах, замес комбинированного или изолированного компонента в тесто, а также применение предварительно приготовленных витаминно-минеральных премиксов или капсулированных препаратов. Активно используются органические и неорганические соли необходимых микроэлементов, которые вносят в муку или в закваску в процессе тестоведения [54, 72, 106, 121, 190, 202]. Несколько обособленно от перечисленных методов набравшее популярность проращивание зерна в целях повышения нутриентной ценности готового сырья

[110]. К существенным недостаткам описанных технологий относят нестабильность состава изначально используемых, богатых нутриентами, рецептурных компонентов, ввиду особенности времени, места и условий произрастания растительных компонентов. Далеко не все представленные на рынке сырьевые источники богатые необходимыми к обогащению веществами способны гарантированно сохранять исходный нутриентный состав, в частности, в вопросе превышения содержания ряда элементов в готовом продукте. В тоже время, комплексы соединений, вне зависимости от природы их производства, направленные на обогащение изделий сразу несколькими эссенциальными элементами, без учета антагонистического взаимодействия между ними способствуют формированию факторов, затрудняющих последующую всасываемость и усвоение внесенных нутриентов. В условиях развития рынка ФПП обогащенных биологически значимыми элементами важна опора на данные биомониторинговых исследований элементного статуса населения и последующее локальное внедрение функциональных изделий с повышенным содержанием выбранных дефицитных компонентов.

Затруднения в активном обогащении хлебобулочных изделий возникают по причине стоимости оборудования необходимого для обеспечения мельзаводов обогатительными системами, серьезного изменения существующих технологических производственных схем, развития региональных сетей малых хлебопекарных предприятий, в частности – популяризирующих производство хлеба с внесением нетрадиционного растительного и животного сырья.

В поиске путей решения описанных проблем, а также с целью расширения списка доступных методов обогащения хлебобулочных изделий перспективными предстают применяемые в областях энзимологии, биотехнологии и фармакологии методы иммобилизации необходимого компонента. В широком смысле, под иммобилизацией подразумевается любой метод ограничения подвижности молекул, производимый при помощи закрепления их на поверхности носителя, без потери эффективности самой молекулы. Среди наиболее подходящих для

закрепления микроэлементов выделяют методы, основанные на физических и химически взаимодействиях [2, 3, 92, 94, 97].

В первую очередь, под физическими механизмами закрепления подразумевают сорбцию. Основные механизмы связывания в сорбционной иммобилизации сконцентрированы либо на поверхности, либо в массе носителя. Удерживающая поверхность, в случае иммобилизации на носителе, обтекается внешней жидкой или газообразной средой. К недостаткам адсорбционного метода следует отнести невысокую прочность связывания вносимой фазы с носителем. Иммобилизация в массе носителя происходит как за счет физических факторов, т.е. механически, так и по причине фиксации с образованием ковалентных связей между носителем и вносимой фазой. В вышеописанном случае свойства носителя, такие как, пористость, заряд, гидрофильность, в значительной степени могут сказываться на функционировании иммобилизованного компонента и на уровне реализации потенциальных возможностей. В целом, физические методы иммобилизации не требуют внесения сложных изменений в технологический процесс производства продукции, в следствии чего представляют особый интерес с точки зрения экономической рентабельности готовящейся композиции [38, 56, 122]. Физические методы иммобилизации уже нашли крайне широкое применение в ряде областей пищевой промышленности, в частности, с целью закрепления необходимых ферментов или клеток на поверхности различных носителей [37, 58, 89, 90, 93, 98, 143, 145].

Отдельно от адсорбционной стоит выделить иммобилизацию необходимых компонентов путем включения в гели, внедрением вносимой фазы в трехмерную сетку из тесно переплетенных полимерных цепей. Среднее расстояние между соседними цепями в геле меньше размера молекулы включаемого вещества, поэтому оно не может покинуть полимерную матрицу и выйти в окружающий раствор, т.е. находится в иммобилизованном состоянии. Иммобилизация в гелях обеспечивает равномерное распределение частиц в объеме носителя. Гели обладают высокой механической, химической, тепловой и биологической

стойкостью. Несмотря на перечисленные положительные стороны, применение гелей в качестве носителей затрудняет процесс внедрения готовой композиции в классические рецептуры хлеба [4, 45, 87, 88, 96].

Метод микрокапсулирования представляет собой иной принцип закрепления необходимых компонентов. Суть метода состоит в том, что водный раствор с фиксируемой фазой включают внутрь микрокапсул, образующих пузыри полимерного материала с мембранной стенкой, размером капсул до нескольких сотен микрометров, в зависимости от метода получения и используемого сырья [9, 99, 105]. В настоящее время, данный способ иммобилизации представляет собой крайне перспективное и в тоже время неизученное направление исследований. На сегодняшний день нерешенными остаются экономические аспекты производства микрокапсул, трудности, связанные со сложностью процесса получения готового продукта, а также недостаточная апробация производимых композиций как в исследовательских проектах хлебопекарной промышленности, так и в масштабах коммерческой пекарни [210].

В отличие от перечисленных физических методов иммобилизации, при преимущественно ковалентном связывании дисперсной фазы с поверхностью носителя закрепление происходит при помощи “сшивающих” агентов. Подобный способ иммобилизации обеспечивает прочную и необратимую связь вносимого компонента с носителем и сопровождается стабилизацией молекулы элемента. В противовес к высокой сшиваемости с носителем, при применении методов ковалентной иммобилизации возможно затруднение растворения готовой композиции в организме, что может привести к низкой усвояемости вносимого элемента. Не менее важным остается вопрос о безопасности получаемого в результате реакций соединения. Данные методы иммобилизации в пищевой промышленности в первую очередь сосредоточены в области повышения устойчивости и длительности активности ферментов [5, 6, 7, 66, 91, 95, 136].

Следующие условия являются наиболее важными при выборе метода иммобилизации:

1. Используемый метод иммобилизации не должен в значительной степени влиять на реакционную способность элемента, либо должен происходить эффективный распад сорбента с высвобождением элемента, в случае применения методов физической иммобилизации.

2. Иммобилизация осуществляется таким образом, чтобы в результате максимальное количество вносимого элемента сохранялось на носителе в стабильном состоянии.

3. Необходим контроль и минимизация потенциального токсичного эффекта, возможного при образовании новых соединений.

4. Трудоемкость стадии иммобилизации должна быть минимальной, как и общее число манипуляций.

5. Необходима экономическая рентабельность применяемого метода иммобилизации.

В рамках разработки ФПП обогащенных эссенциальными элементами, с точки зрения простоты применения, возможности массового внедрения и минимизации влияния на итоговую себестоимость готовой продукции в хлебопекарной промышленности наиболее перспективными представляются физические методы иммобилизации на поверхности биополимерного носителя.

С точки зрения соблюдения потребителем сбалансированного и рационального питания наиболее целесообразным представляется расширение ассортимента функциональных изделий, изготовленных из смеси муки пшеничной хлебопекарной обойной и муки пшеничной хлебопекарной II сорта, ввиду исходного богатства сырья, сохраняющего внешнюю оболочку зерна пшеницы. Тестовые заготовки изделий, производимые с применением преимущественно муки обойной, либо муки цельнозерновой, характеризуются рядом технологических затруднений, в частности повышенным поглощением влаги, сниженной эластичностью, изменением срока годности готовой продукции и прочими производственными сложностями.

Так, в «Сборнике рецептов на хлебобулочные изделия, вырабатываемые по государственным стандартам» сформированном под руководством Косована А.П.

представлены рецептуры хлеба, приготовленного с применением различного сырья, включая хлеб из ржаной муки, смеси разных сортов муки, а также хлеб из пшеничной муки, в том числе изделия из смеси различных сортов пшеничной муки [51].

На этапе отбора базовой рецептуры, для последующего обогащения, изделия с содержанием ржаной муки не рассматривались в силу следующих факторов. Характерные органолептические свойства ржаного хлеба, включая специфический кисловатый вкус и плотную текстуру мякиша, существенно ограничивают его потребительскую привлекательность для широких слоев населения. Кроме того, многие традиционные технологии производства ржаных хлебобулочных изделий подразумевают использование ферментированного ржаного солода, что может привести к нежелательному влиянию данного дополнительного сырьевого источника как на обогащающий ингредиент, так и на фиксируемые свойства готового изделия. В связи с этим далее рассматривались рецептуры хлеба, изготовленного из пшеничной муки с минимальным составом необходимых сырьевых источников.

Хлеб, приготовленный с применением исключительно муки пшеничной высшего, первого и второго сортов, далее рассмотрен не был в связи с низкой потребительской ценностью изделий, произведенных с использованием данного сырья. С точки зрения сбалансированности состава, рациональнее рекомендовать к употреблению хлебобулочные изделия, включающие в свой состав муку пшеничную обойную или муку пшеничную цельнозерновую.

Однако изделия, приготовленные из муки пшеничной обойной без добавления других видов муки, обладают технологическими особенностями, вызывающими затруднения в массовом производстве, такими как высокая влажность теста и сложность в его формовании. В связи с чем, наиболее выгодными для последующего обогащения, как с точки зрения простоты реализации, так и сбалансированности состава, представляются рецептуры хлеба, в которых одновременно используются как мука пшеничная обойная, так и другие виды пшеничной муки [154].

По этой причине, к наиболее подходящим для последующего обогащения по нутриентному составу и технологическим свойствам можно отнести изделия из категории «Хлеб из смеси разных сортов пшеничной муки», а конкретно: хлеб забайкальский, хлеб кишиневский, хлеб степной, хлеб уральский. В списке требуемого для производства хлеба уральского сырья присутствует патока, в то время как оставшиеся изделия идентичны в применяемых сырьевых источниках, ограничиваясь лишь мукой пшеничной хлебопекарной обойной, мукой пшеничной хлебопекарной второго сорта, дрожжами хлебопекарными прессованными и солью поваренной пищевой.

К ключевым различиям перечисленных изделий относится пропорция используемых видов муки, в результате чего наиболее оптимальной представляется рецептура хлеба забайкальского, соотношение муки в которой составляет 1:1, что одновременно позволяет сохранить богатый состав сырья и не допустить трудностей, возникающих при преобладании муки пшеничной хлебопекарной обойной.

1.4 Биополимерные носители как основа обогащающей композиции

Активно ведется поиск новых обогащающих пищевых ингредиентов, представляющих собой продукты переработки или легко возобновляемые источники растительного и животного происхождения [210].

Определяя требования, предъявляемые к выбираемым носителям, стоит уделить внимание следующему:

1. В зависимости от выбранного метода иммобилизации, биополимер должен либо не быть растворимым в воде, либо участвовать в процессе активного гелеобразования путем повышения вязкости раствора.

2. Применяемый биополимер не должен оказывать негативного влияния на физико-химические и органолептические показатели готовых продуктов.

3. При выборе носителя необходимо уделять внимание способности образуемой композиции к устойчивому и эффективному расщеплению или потере

вязкости в желудочно-кишечном тракте, с целью эффективной передачи закрепляемого компонента.

4. В результате иммобилизации носитель с зафиксированным элементом, вне зависимости от применяемого метода, не должен оказывать токсического воздействия на организм потребителя.

В хлебопечении, с целью обогащения изделий эссенциальными элементами, наибольший интерес представляют нерастворимые биополимерные сорбенты или гелеобразователи. Наиболее востребованными в медицине, фармакологии и биотехнологии сорбентами, безопасными к применению в пищевой промышленности, являются: целлюлоза, хитозан, лигнин, кератин, коллаген, агароза, пектиновые вещества, альгинаты и другие. Часть из них уже нашла широкое применение в качестве носителей иммобилизуемых ферментов, клеток и лекарственных препаратов [15, 41, 74, 75, 100]. В тоже время, не только биополимерные носители используются в различных методах иммобилизации как основа для закрепления необходимых компонентов. Среди простых веществ и сравнительно не крупных молекул можно выделить уголь и диоксид кремния, как сорбенты, используемые в широком круге областей, в частности, биотехнологиях [43, 135]. Стоит отметить, что, к ряду носителей применимы различные методы иммобилизации в зависимости от формы реализации готовой композиции. Так, к хитозану и целлюлозе применимы как адсорбционная, хемосорбционная иммобилизация, так и иммобилизация в массе геля [32, 41, 86].

Проведя сравнительный поиск в базе одного из самых крупных издателей научных журналов – MDPI, можно сделать вывод о общем количестве исследований, в которых в качестве объектов иммобилизации применяются описанные носители. Поиск производился в интервале с 2014 по 2024 год по двум ключевым терминам «иммобилизация» и «название носителя» из списка, представленного выше, исключая из перечня направлений не подходящие области, такие как: Computer Science & Mathematics, Business & Economics, Social Sciences, Arts and Humanities. Общий объем исследований за последние 10 лет

ставящих своей целью применение методов иммобилизации в отношении выбранных носителей отображен в рисунке 1.2.

В последние годы применение методов иммобилизации набирает все большую популярность в широком круге областей, что можно пронаблюдать на сформированной гистограмме. В тоже время необходимо учитывать рост популярности издателя в качестве фактора, увеличивающего количество опубликованных статей за последние десять лет. Вне зависимости от этого, среди перечисленных носителей можно выделить целлюлозу и хитозан, как полимеры, вызывающие наибольший интерес. Данные природные полимеры заслуживают внимания по причине широкой функциональности, сравнительной дешевизны, безопасности и высокой возобновляемости сырья.

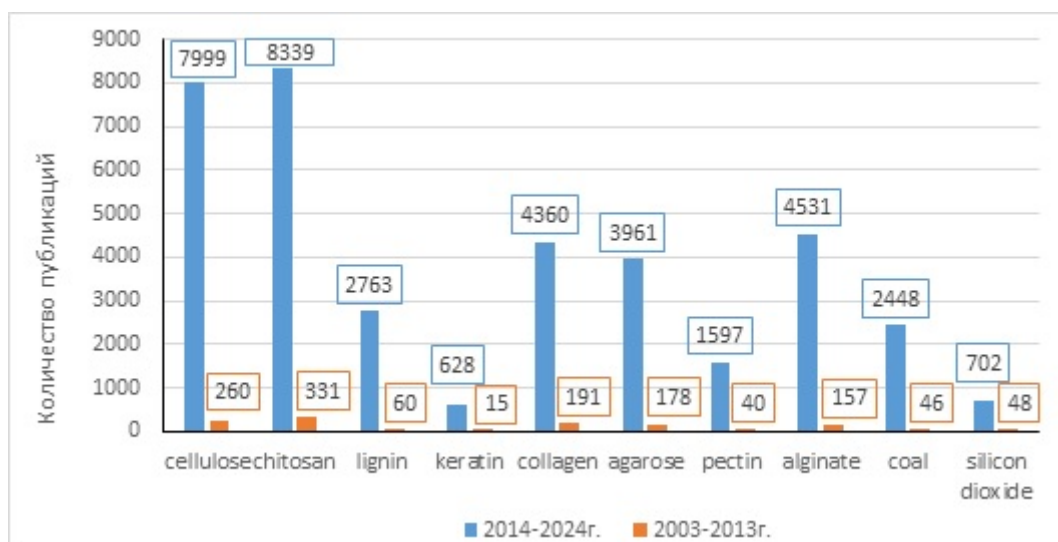


Рисунок 1.2 – Количество публикаций, опубликованных до 01.10.2024, в открытой базе издателя MDPI, найденных по запросу: «Immobilization» и «cellulose/chitosan/lignin/keratin/collagen/agarose/pectin/alginate»

Так, целлюлоза – линейный гомополимер, состоящий из остатков D-глюкозы, соединенных между собой бета-1-4-гликозидными связями, встречается в природе в качестве составной части клеточных оболочек высших растений и добывается в промышленных масштабах методом варки щепы на целлюлозных заводах [70]. На скорость разложения целлюлозы и как следствие возвращения структурных компонентов полимера в пищевую цепь влияют тип почвы, ее состав, количество целлюлозоразрушающих микроорганизмов, гидротермические

условия и ряд других факторов [25]. В отличие от близкого по строению крахмала, звенья глюкозы в котором соединены альфа-связями, физико-химические свойства целлюлозы позволили данному полимеру стать одним из самых популярных в применении носителей ферментов и клеток [199]. Не растворимая в воде, слабых кислотах и большинстве органических растворителей целлюлоза показала себя крайне удобным объектом в методах адсорбционной иммобилизации [146]. Так, наиболее часто к целлюлозе применимы методы адсорбционной иммобилизации, в то время как модифицированные производные, к примеру, аминоцеллюлоза, пригодны в качестве носителей для методов ковалентной иммобилизации [112]. Гидрофильность, обеспечиваемая большим числом гидроксильных групп, выделяет не модифицированную целлюлозу в качестве высоко эффективного сорбента, в тоже время, крайне слабо расщепляющегося в организме человека, в первую очередь в результате активности микрофлоры кишечника. Данная особенность способна стать фактором, затрудняющим последующую передачу закрепленного микроэлемента организму, в виду низкой усвояемости [10].

В свою очередь, хитозан – аминополисахарид, состоящий из D-глюкозаминовых остатков, связанных бета-1-4-гликозидными связями, фактически, представляет собой производное соединение хитина, незначительно уступающего целлюлозе в вопросе распространенности в биосфере и входящего в состав организма насекомых, морских беспозвоночных, членистоногих, грибов и дрожжей [158]. Способ получения данного аминополисахарида состоит в удалении ацетильной группы ($\text{CH}_3\text{-CO}$) из структуры хитина, в результате чего получаемый продукт приобретает способность растворяться в широком ряде кислот. Переработка сырья осуществляется химическими, биотехнологическими или иными методами в основном благодаря последовательности процессов депротеинирования, деминерализации и деацетилирования исходного полимера [184]. В результате – полученный продукт обладая реакционноспособной аминогруппой ($\text{NH}_2\text{-}$) в состоянии связывать и удерживать ионы различных металлов, одновременно с тем имея возможность образовывать большое

количество водородных связей, вследствие чего способен связывать и органические водорастворимые вещества [80]. Хитозан имеет крайне схожее строение с целлюлозой, отличаясь наличием в положении С-2 ацетамидогруппы, вместо гидроксильной. Степень деацетилирования промышленно добываемого хитозана зачастую не превышает 90 % и фактически присутствующий на рынке полимер представлен цепью из чередующихся β -(1-4) D-глюкозаминовых и N-ацетил-D-глюкозаминовых звеньев [33]. Известно, что хитозан классифицируется как нетоксичное и биосовместимое вещество, со значением LD_{50} , при пероральном применении мышам, превышающем 16 г/кг [32]. Хитозану, в качестве носителя, подходит широкий ряд методов иммобилизации, в частности, как адсорбционной, так и ковалентной. Высокая защита вносимой фазы, реакционная способность, возобновляемость и выгодные технологические свойства сделали хитозан одним из самых популярных носителей в медицине, фармакологии, биотехнологии и пищевой промышленности [13, 42, 119, 123, 164, 196, 198]. Для эффективного метаболизма хитозана важно присутствие в организме хитинолитических ферментов, хитиназ. Однако невозможность к усвоению аминополисахарида человеком лишь повышает безопасность указанного сырья, по причине чего данное соединение широко применимо в роли носителя фармацевтических препаратов. Необходимо отметить, что слабая растворимость хитозана в воде, и при этом активная в присутствии раствора соляной кислоты позволяет применять полимер в качестве эффективного сорбента способного к десорбции закрепленных компонентов в процессе прохождения через желудочно-кишечный тракт.

При обогащении хлебобулочных изделий содержащей эссенциальные элементы композицией, методами адсорбционной иммобилизации, особую перспективу представляют такие биополимеры как целлюлоза и хитозан.

1.5 Изучение рынка обогащенных хлебобулочных изделий в разрезе региона

В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации (Утвержденной Указом Президента Российской Федерации от

21.01.2020 г. № 20) одной из основных задач обеспечения продовольственной безопасности является обеспечение физической и экономической доступности продовольственного ассортимента качественной и безопасной пищевой продукции, необходимой для формирования рациона здорового питания каждого гражданина страны.

Продукты функционального назначения направлены на обеспечение потребителя недостающими в рационе биологически значимыми компонентами, в частности эссенциальными элементами, и должны распространяться с опорой на данные мониторинговых служб, контролирующих состояние здоровья населения. Важно помнить, что избыточный прием биологически активных веществ, без учета необходимости организма граждан в них, способен оказать негативное влияние на общее здоровье человека, как и регулярное употребление обогащенных данными компонентами продуктов, не соответствующих современным нормам сбалансированного питания.

Разработка функциональных продуктов питания на базе составляющих основу рациона товаров, таких как хлеб, позволяет эффективно удовлетворить потребности максимально широкого круга граждан. Развитие малых сетей региональных пекарен способствует достижению необходимого уровня физической доступности обогащенной продукции во всех населенных пунктах страны. Внедрение функциональных изделий рационально лишь с опорой на простоту технологии и возможность ее интеграции в условия производства предприятий малого и среднего бизнеса.

Для оценки распространенности продуктов функциональной направленности в области хлебопекарной промышленности изучен региональный рынок производителей хлеба Воронежской области в рамках г. Воронеж и окружающих его муниципальных образований.

В ходе проведенного исследования информационный поиск ограничивался сведениями, доступными исключительно в открытых источниках, с использованием баз данных СБИС и Rusprofile. Следует отметить, что существующие затруднения в учете реального состояния рынка обусловлены

недостатком достоверной информации о секторе малого бизнеса, а также отсутствием открытой отчетности ряда предприятий данного сегмента, одновременно производящих разнообразную пищевую продукцию, включая хлебобулочные изделия. Кроме того, необходимо подчеркнуть, что значительная доля регионального рынка приходится на локальные торговые объекты, которые в процессе своей деятельности также осуществляют производство хлебобулочных изделий [62].

В рамках оценки ассортимента регионального рынка не учитывается продукция, произведенная за пределами выбранного субъекта Российской Федерации. Однако, следует отметить, что в связи с увеличением популярности хлебобулочных изделий длительного хранения, доля хлеба, произведенного вне рассматриваемой области, на локальном рынке постепенно возрастает [19].

Тем не менее, необходимо подчеркнуть, что малые пекарни, как и региональные производители в целом, составляют значительную долю на рынке хлебобулочной продукции, что свидетельствует о их важной роли в удовлетворении потребительского спроса и поддержании конкурентного баланса на уровне выбранного субъекта РФ. Физическая доступность торговых объектов для конечного покупателя является одним из ключевых факторов, определяющих выбор места закупки хлебобулочных изделий, в связи с чем наблюдается повышенный интерес к торговым точкам, расположенным в спальных районах, обеспечивающим для населения удобство и досягаемость приобретения товаров [147].

Согласно собранным данным, в настоящий момент, на территории Воронежской области не менее 453 организаций, в соответствии с общероссийским классификатором видов экономической деятельности (ОКВЭД), осуществляют виды деятельности, относящиеся к категории «Производство хлебобулочных и мучных кондитерских изделий» и «Торговля розничная хлебом и хлебобулочными изделиями и кондитерскими изделиями в специализированных магазинах». Среди них, 240 компаний непосредственно производящих и реализующих, помимо прочего, хлебобулочные изделия группы хлеб, из которых,

согласно единому реестру субъектов малого и среднего предпринимательства ФНС РФ, статусом «микропредприятие» обладает 188 организаций, статусом «малое предприятие» 28 организаций, статусом «среднее предприятие» 6 организаций и 18 в реестр не включены. В количественном соотношении данное распределение демонстрирует доминирование малого бизнеса в выбранной сфере пищевого производства.

Проведен анализ ассортимента продукции компаний лидеров Воронежской области в хлебопекарной промышленности. К организациям, обладающим наибольшим объемом производства и реализации хлеба в выбранном регионе, относятся следующие: ООО «Ювента и К», ООО «Экохлеб», ООО «Хлебный Дом "Калачеевский"», АО «Хлебозавод №7», АО «Тобус». Из перечисленных, согласно единому реестру субъектов малого и среднего предпринимательства ФНС РФ, первые две организации обладают статусом среднего предприятия, третья обладает статусом малого предприятия, последующие в реестр не входят.

На рисунке 1.3 отображается количество наименований хлебобулочных изделий у выбранных производителей, с разделением на продукцию категории хлеб и продукцию булочную. Лидирующей по количеству наименований изделий среди выбранных организаций является компания АО «Тобус». Заметно неравномерное распределение соотношения хлеба с булочными изделиями, количество которых составляет не более 45 % от общего числа наименований хлебобулочных изделий. Булочные изделия, в частности батон и булка, производимые преимущественно из муки пшеничной высшего сорта и не соответствующие требованиям поставленной задачи рассматриваться далее не будут. При оценке ассортимента продукции и применяемого сырья сравнение производится с опорой на данные по изделиям категории хлеб.

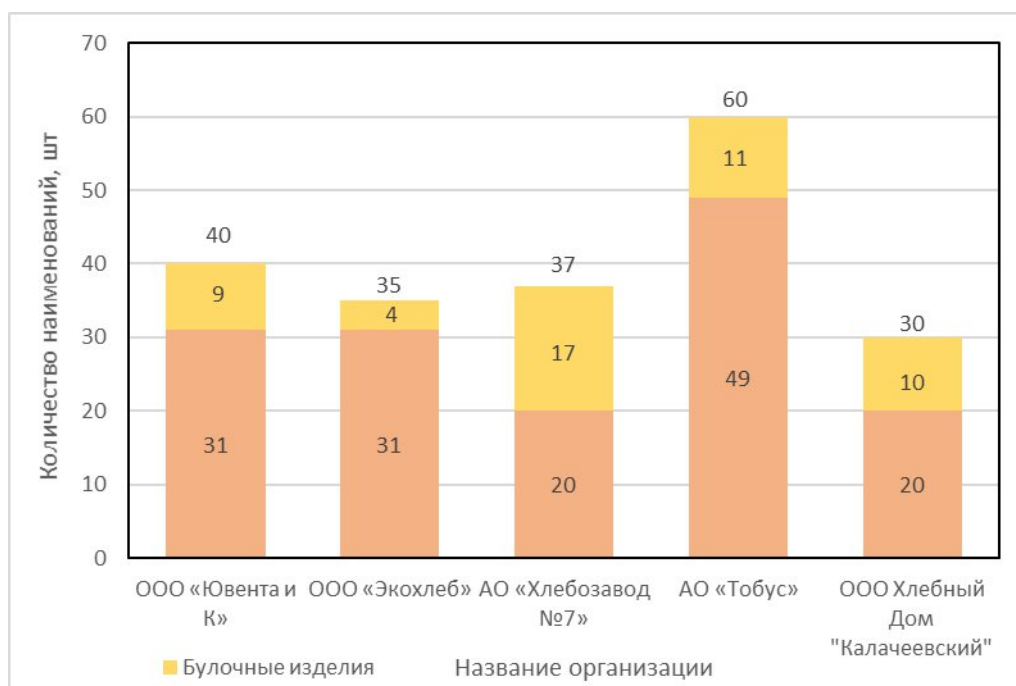


Рисунок 1.3 – Количество наименований хлебобулочных изделий

На рисунке 1.4 отображен ассортимент продукции выбранных производителей, с разделением изделий на категории: «Хлеб из пшеничной муки высшего сорта»; «Хлеб из пшеничной муки I сорта»; «Хлеб из пшеничной муки II сорта»; «Хлеб из пшеничной обойной муки»; «Хлеб из смеси разных сортов пшеничной муки»; «Хлеб из ржаной обдирной муки»; «Хлеб из смеси разных сортов ржаной и пшеничной муки».

В выбранной категории продукции выделяется преобладание изделий, относящихся к категории «Хлеб из пшеничной муки высшего сорта» и «Хлеб из смеси разных сортов ржаной и пшеничной муки». Однако, в то время как равномерное распределение в количестве изделий изготовленных из смеси разных сортов ржаной и пшеничной муки наблюдается у всех выбранных производителей. Изделия, изготовленные из муки пшеничной высшего сорта в значительно большем соотношении представлены в ассортименте производителя АО «Тобус». В тоже время, не менее важно сравнение не только ассортимента изделий, но и соотношения применяемого в их производстве сырья.

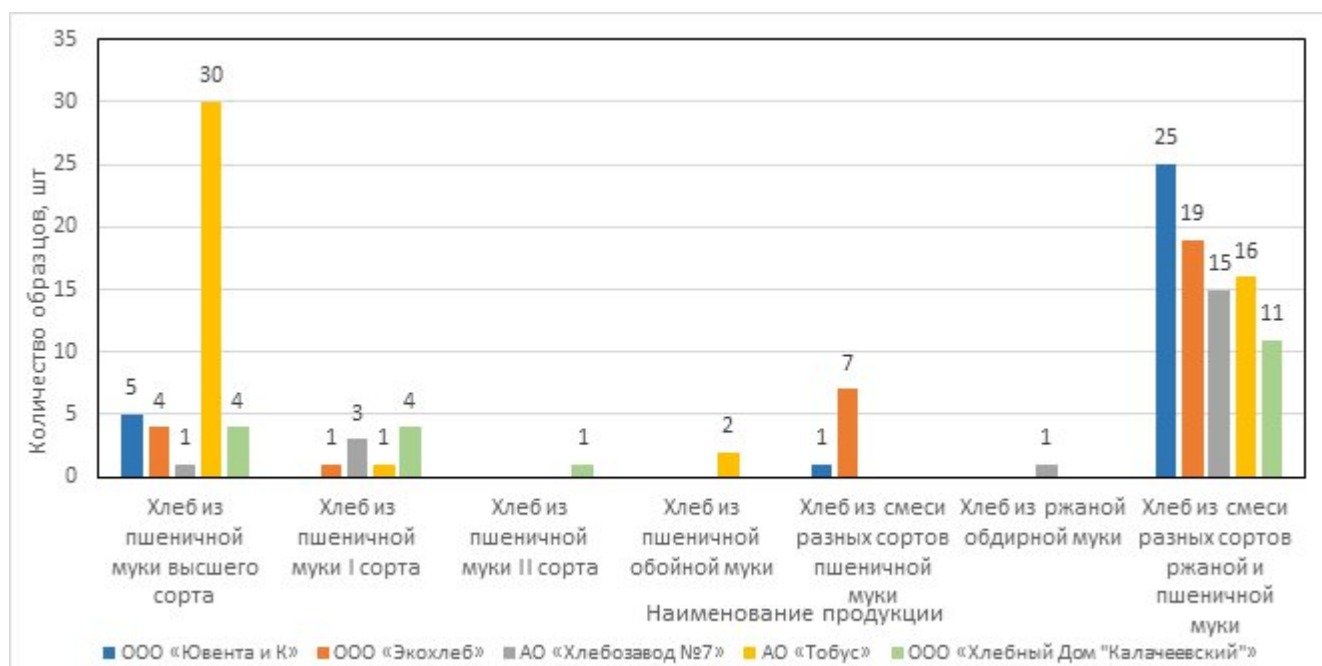


Рисунок 1.4 – Сравнительная оценка ассортимента продукции выбранных производителей

На рисунке 1.5 отображается доля муки различных сортов, применяемой в производстве изделий группы хлеб в ассортименте выбранных организаций.

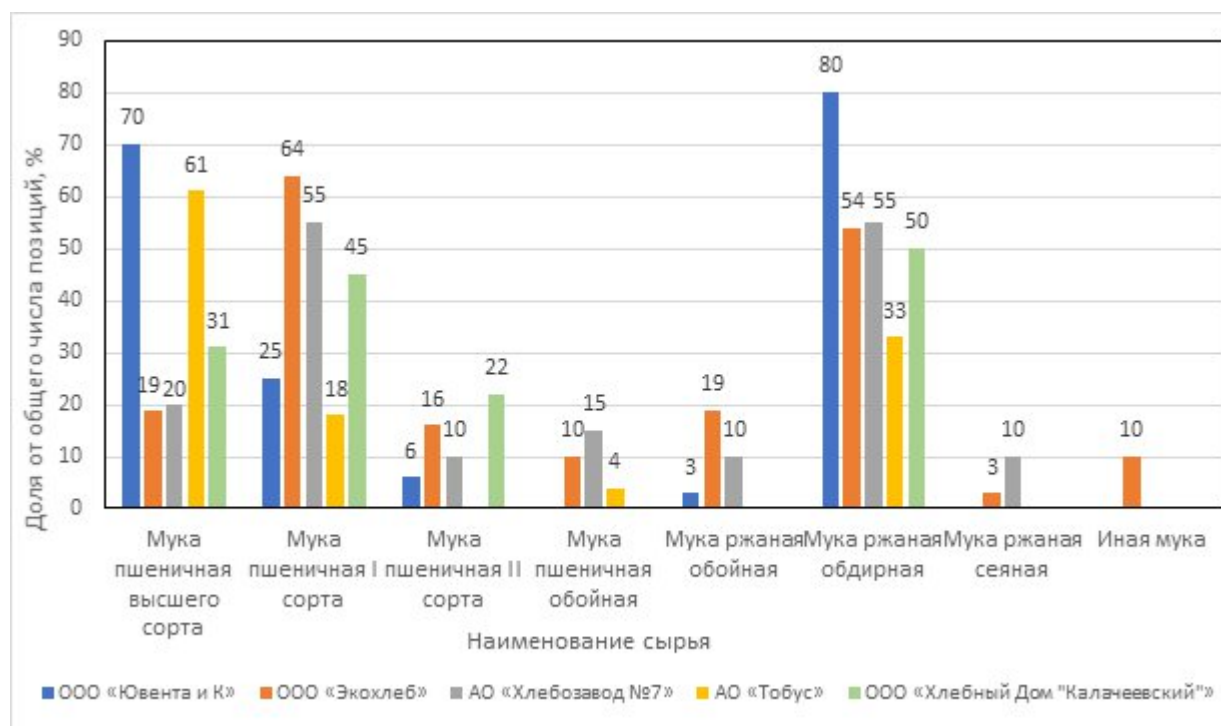


Рисунок 1.5 – Сравнение соотношения применяемого в производстве сырья к общему числу изделий, представленных в ассортименте выбранных изготовителей

Наблюдается преобладание муки пшеничной высшего сорта и муки ржаной обдирной в ассортименте ООО «Ювента и К» и АО «Тобус». В продукции ООО «Экохлеб», ООО «Хлебный Дом "Калачеевский"» и АО «Хлебозавод №7» наиболее часто применялась мука пшеничная I сорта и мука ржаная обдирная. Мука, произведенная из иных сырьевых источников, практически не нашла применения в линейке продуктов выбранных производителей. Можно отметить лишь использование компанией ООО «Экохлеб» муки кукурузной и муки гречневой в рецептурах соответствующей линейки продукции.

Для оценки использования региональными производителями нетрадиционных сырьевых источников на рисунке 1.6 представлены значения доли продукции, произведенной с применением сырья, повышающего потребительские свойства изделий. В учет не вошли хлеба, содержащие в составе солод ржаной ферментированный, исторически применяемый в значительном количестве рецептур, изготавливаемых из ржаной муки. Согласно собранным данным, к наиболее применяемым дополнительным обогащающим сырьевым источникам относятся: семена пшеницы, льна, тыквы, кунжута, солод ржаной неферментированный, пророщенное зерно пшеницы и ржи, крупы кукурузная и гречневая, грецкий орех, фундук, высушенные плоды и клубни культурных плодовых и овощных растений, хмелевая композиция и прочие источники.

Существенная часть перечисленного сырья широко применяется в рецептурах хлеба не только как источник биологически активных веществ, но и благодаря ярко выраженным вкусовым качествам. В тоже время, большую часть подобных компонентов производители вносят с целью повышения пищевой и биологической ценности готового изделия, а также увеличения содержания в нем функционально значимых компонентов, в частности эссенциальных элементов и витаминов.

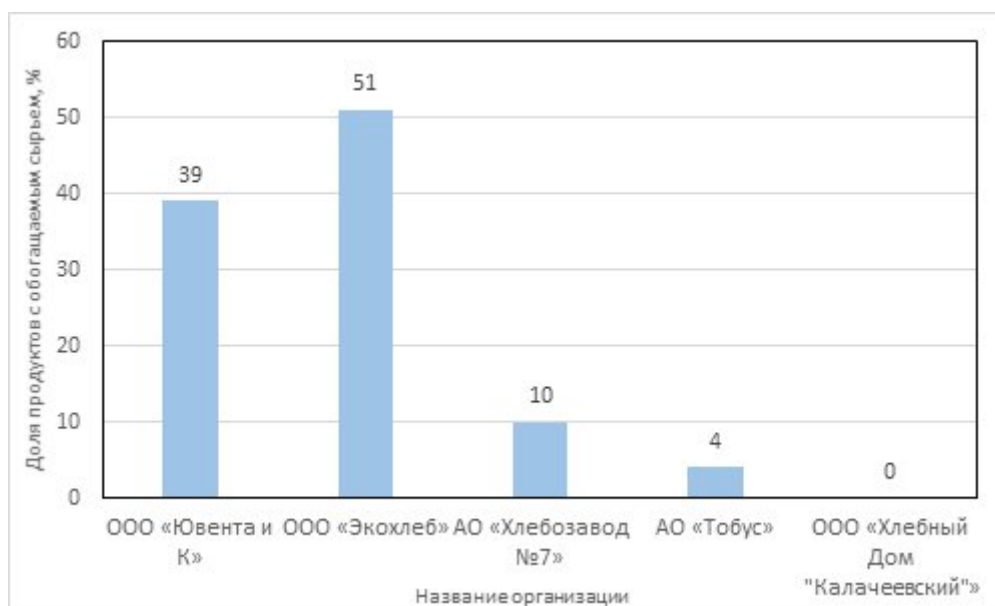


Рисунок 1.6 – Доля продукции, содержащей в составе не основные сырьевые источники

Рисунок 1.7 позволяет оценить популярность используемых в рецептуре хлеба дополнительных сырьевых источников.



Рисунок 1.7 – Диаграмма широты применения не основных сырьевых источников

В оценке сырья первое место по применению занимает ржаной ферментированный солод, широко применяемый в большинстве рецептов ржанных и ржано-пшеничных изделий. После, наиболее часто применимы семена подсолнечника, отруби пшеничные и семена льна. В представленном

разнообразии продукции значительно реже, в не более 2 % от общей доли ассортимента, нашли применение следующие сырьевые источники: солод ржаной неферментированный, семена тыквы, пророщенное зерно пшеницы, пророщенное зерно ржи, хмелевая композиция, крупа кукурузная, крупа гречневая, грецкий орех, фундук, смесь сухофруктов, лук, клюква. В сумме, данные компоненты присутствуют в не более чем 16 % продукции, произведенной с применением обогащающего пищевого сырья.

Среди муки наибольшее применение нашла мука пшеничная высшего сорта, мука пшеничная I сорта и мука ржаная обдирная. Среди используемых нетрадиционных сырьевых пищевых источников лишь незначительная доля соответствует требованиям, предъявляемым к компонентам функциональной направленности.

Результаты анализа ассортимента ведущих производителей демонстрируют, что региональный рынок хлебопечения, несмотря на историческую значимость и популярность у населения позиций исследуемой категории, ограничен в разнообразии изделий, приготовленных с применением обогащающих ингредиентов, как и в выборе товаров относящейся к категории функциональных продуктов.

ГЛАВА 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Организация работы и схема проведения эксперимента

Экспериментальные исследования проводили в условиях кафедры товароведения и экспертизы товаров, а также передовой инженерной школы «Агроген», в лабораториях центра биотехнологических исследований ФГБОУ ВО Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, в условиях центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО Воронежского государственного университета, в промышленных условиях и лабораториях АО «Тобус» (Воронежская область, Воронеж), НУПЦТИГ ФГБОУ ВО «ВГУИТ» (Воронежская область, Воронеж), ООО "Эдди" (Воронежская область, Новая Усмань).

Исследование влияния разработанного продукта на физиологическое состояние лабораторных животных осуществлялось на базе лабораторий ФГБНУ Всероссийского научно-исследовательского ветеринарного института патологии, фармакологии и терапии. Заглавный лист отчета, совместно с перечнем исполнителей, проведенной научно-исследовательской работы приведен в приложении 2.

Объектами исследований являлись хитозан пищевой, торговой марки «ZHEJIANG AOXING BIOTECHNOLOGY CO., LTD», целлюлоза МКЦ 102, торговой марки «XI'AN TAICHENG CHEM CO., LTD», уголь активированный марки БАУ-А, коллоидный диоксид кремния, сульфат цинка 7-водный, мука хлебопекарная пшеничная II сорта, мука хлебопекарная пшеничная Высшего сорта, мука хлебопекарная пшеничная цельнозерновая, дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие, соль поваренная пищевая, хлебопекарное тесто, обогащенный хлеб.

Приготовление хлебопекарного теста и готовых изделий осуществляли в лабораториях кафедры товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, АО «Тобус» (Воронежская область, Воронеж), НУПЦТИГ ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

(Воронежская область, Воронеж), ООО "Эдди" (Воронежская область, Новая Усмани).

Схема организации эксперимента приведена на рисунке 2.1.

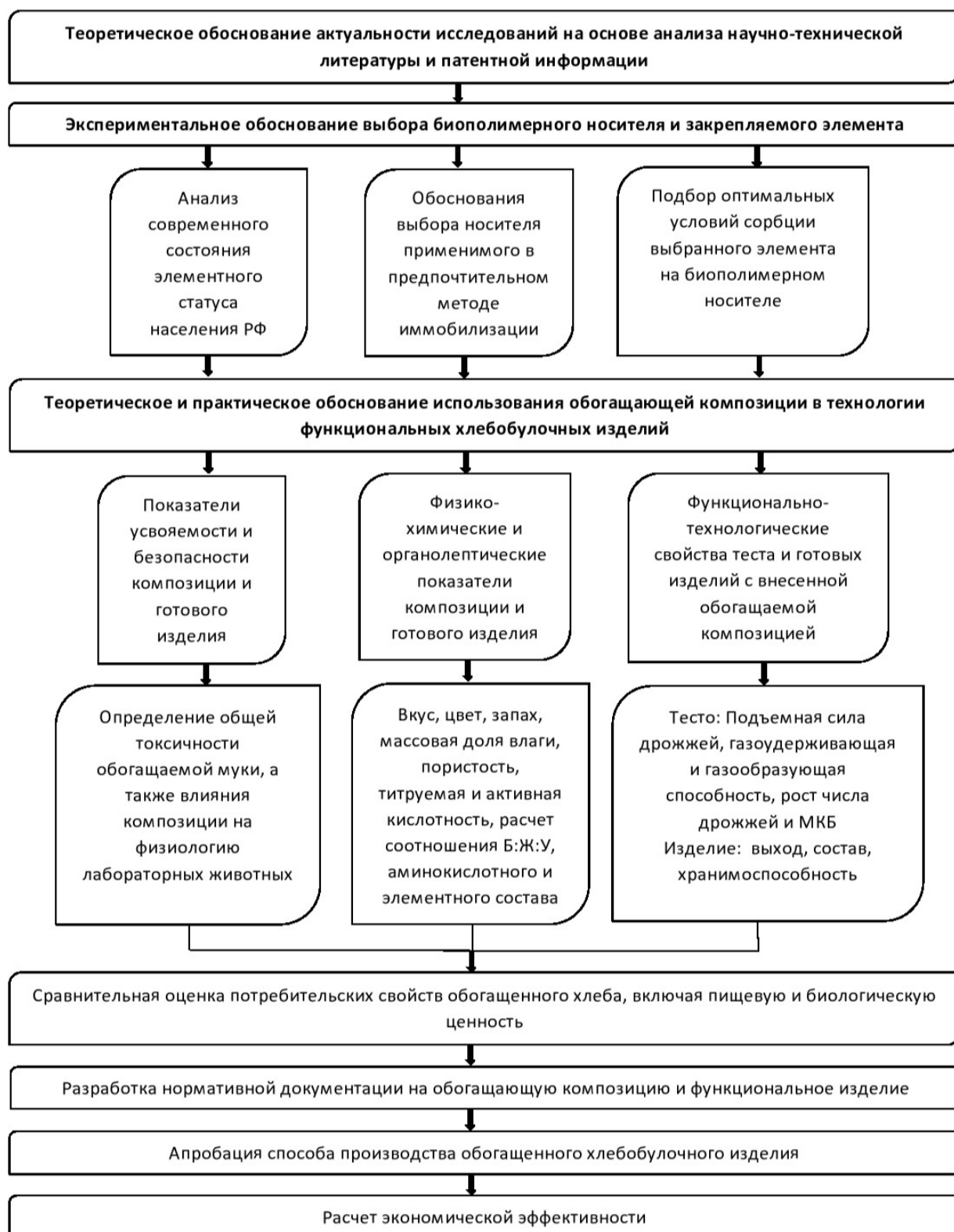


Рисунок 2.1 – Структурная схема исследований

На первом этапе производилось теоретическое обоснование актуальности исследования путем анализа научно-технической литературы и патентного поиска. Попутно, на основании наиболее актуальных данных, производилась оценка элементного статуса населения РФ, с выявлением наиболее часто регистрируемых дефицитов эссенциальных элементов, а также анализ распространенности продуктов функциональной направленности в разрезе региона.

Второй этап был посвящен экспериментальному обоснованию применения хитозана в качестве основы для иммобилизации цинка. Для этого проводили сравнение физико-химических и технологических показателей хитозана с наиболее экономически выгодными, возобновляемыми сорбентами применимыми в пищевой промышленности. В частности, производили определение статической обменной емкости хитозана, для определения потенциала сорбционной силы сорбента, а также изучение изменения поверхности полимера в процессе иммобилизации.

На третьем этапе исследовали влияние вносимой композиции на свойства теста и качество готового хлеба из пшеничной муки. В хлебопекарном тесте определяли значение газодерживающей и газообразующей способности, активную кислотность, рост числа дрожжей и молочнокислых бактерий, а также, отдельно, подъемную силу дрожжей. Качество готовых хлебобулочных изделий исследовали по значениям массовой доли влаги, кислотности, пористости, удельного объема, выхода, органолептической оценки, а также оценки хранимоспособности. Биосовместимость и биологическую безопасность готовых изделий и обогащающей композиции устанавливали путем определения общей токсичности обогащаемой муки, а также влияния обогащенного хлеба на физиологию лабораторных животных.

На четвертом этапе разрабатывалась техническая документация на новый вид обогащенного хлебобулочного изделия, производилась оценка потребительских свойств готового изделия, а также промышленная апробация полученных результатов.

На пятом этапе производился расчет экономической эффективности при использовании в производстве хлебобулочных изделий обогащающей пищевой композиции, содержащей хитозан и цинк.

2.2 Сырье и методы его исследования

При проведении исследований применяли стандартизированное сырье, приведенное в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Сырье, используемое при проведении исследований

№ п/п	Наименование основного и дополнительного сырья	Национальные и межгосударственные нормативные документы
1	Мука пшеничная хлебопекарная Второго сорта	ГОСТ 26574-2017
2	Мука пшеничная хлебопекарная цельнозерновая	ГОСТ 26574-2017
3	Мука пшеничная хлебопекарная Высшего сорта	ГОСТ 26574-2017
4	Инстантные (быстродействующие) дрожжи	ГОСТ Р 28483-2015
5	Соль пищевая	ГОСТ Р 51574-2018
6	Хитозан пищевой	Декларация ЕАЭС N RU Д- CN.PA01.B.60276/21, производитель «ZHEJIANG AOXING BIOTECHNOLOGY CO., LTD», Китай
7	Цинк сернокислый 7-водный	ГОСТ 4174-77
8	Целлюлоза МКЦ 102	Декларация ЕАЭС N RU Д- CN.PA09.B.04530/24, производитель «XI'AN TAICHENG CHEM CO., LTD», Китай
9	Уголь активный древесный дробленый марки БАУ-А	ГОСТ 6217-74
10	Кремния диоксид коллоидный	ГРЛС Рег. № ЛП-№(000308)-(РГ- RU)
11	Вода питьевая	СанПиН 2.1.4.1074-01

Партии сырья, упаковочных материалов, применяемые в исследованиях, соответствовали требованиям установленным Техническими регламентами

ЕАЭК: ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции», ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» [140, 141].

2.3 Методы исследования состава, свойств и показателей качества сырья, обогащающей композиции и готовых изделий

Определяли следующие физико-механические характеристики выбранных сорбентов: удельный объем как отношение объема набухшего сорбента к массе его сухой формы; коэффициент набухаемости как разницу удельных объемов набухшего и сухого сорбента; насыпной вес как отношение массы сорбента к занимаемому объему, путем помещения 5 г подготовленного сорбента в мерный цилиндр вместимостью 10 см³, усадкой слоя сорбента и фиксированием результатов; истинную плотность как отношение массы сорбента к массе вытесняемой в пикнометре воды, путем помещения 5 г навески сорбента в откалиброванный и взвешенный пикнометр, удаления окклюдированного воздуха в вакуум-эксикаторе на протяжении 10 минут и выдержке пикнометра в термостате при 20 °С в течении 1 ч, с последующей фиксацией результатов; влажность как отношение испаряемой влаги к массе сухого сорбента; механическую прочность как отношение объема сорбента после встряхивания к объему сорбента до встряхивания, путем помещения 10 см³ сорбента и 15 см³ дистиллированной воды в цилиндр вместимостью 25 см³, закрепления цилиндра на площадке лабораторного шейкера и встряхивания на протяжении 8 ч, с последующим измерением объема сорбента в цилиндре [47]. Определение статической обменной емкости (COE) сорбента осуществляли потенциометрическим методом в растворах 0,20 М NaCl и 0,20 М HCl, с построением кривых титрования в соответствии с ГОСТ 20255.1-89. Для определения кривой титрования в 6 мерных колб емкостью 250 см³ помещали по 1 г сорбента, по 50 см³ 0,20 Н NaCl и заданные количества 0,1 Н NaOH: 0;5;10;15;30;40 соответственно. После чего доводили общий объем жидкости до 100 см³ и перемешивали раствор с навесками при помощи лабораторного шейкера

в течение 2 часов, с последующим определением pH растворов, находящихся в равновесии с сорбентом. Для получения кривой в отсутствие сорбента в иные 6 колб помещали 50 см³ 0,20 Н NaCl, заданные количества 0,1 Н NaOH и 0,1 Н HCl: 0;5;15;30 для NaOH и 5;20 для HCl. Общий объем жидкости доводили до 100 см³ и перемешивали раствор в течении 3 мин., с последующим определением pH. Коэффициент растворимости в соляной кислоте определяли, как соотношение массы сорбента к массе растворителя [83].

Эффективность сорбции цинка на поверхности хитозана, а также количество цинка в готовом изделии устанавливали методом атомно-абсорбционной спектрометрии, в соответствии с ГОСТ Р 56372-2015, с применением атомно-адсорбционного спектрометра МГА-100, Люмэкс. Определение содержания цинка в композиции проводили после мокрой минерализации образцов в азотной и хлорной кислотах с последующим добавлением перекиси водорода, в соответствии с ГОСТ 26929-94. Предварительно анализируемый образец прокаливали в муфельной печи. Модификатором матрицы для цинка служил раствор ортофосфорной кислоты с объемной долей 2 %. Для анализа исследуемого сырья опытным путем установили массу навески, которая составила около 1 г. Холостую пробу готовили одновременно с анализируемой, осуществляя идентичные процедуры и используя те же реактивы и в тех же количествах, но без внесения исследуемого образца. Определение содержания цинка проводили в трех повторностях. Относительное стандартное отклонение при P = 95 % составляло 1,3-10,1 %. Изображение поверхности и элементное картирование фиксировали с применением сканирующего электронного микроскопа Tescan Mira 3 на базе ЦКПНО ФГБОУ ВО ВГУ. Для выполнения ЭДС-анализа применялась приставка Oxford в виде энергодисперсионного спектрометра. Исследуемые высушенные образцы композиции наносили на прободержатель с углеродным скотчем. Далее, с помощью напылительной установки с турбомолекулярной откачкой наносили на поверхность тонкий слой углерода для предотвращения скопления заряда электронов в исследуемой области [18].

В рамках определения оптимальной массы сорбента, времени выдержки и условий сорбции количество закрепляемого цинка устанавливалось комплексонометрическим методом, в соответствии с ГОСТ 10398-2016. В колбе мерной вместимостью 100 см³ смешивали хитозан и сульфат цинка 7-водный в заданных значениях, после чего, фильтрат готовой композиции оттитровывали с применением Трилона Б в концентрации 0,05 М, в присутствии индикатора «Эриохром черный Т» и буферного раствора хлористого аммония.

Исследования эффективности применения обогащающей композиции, как функционального пищевого ингредиента на лабораторных животных проводились на базе ФГБНУ «ВНИВИПФиТ». Для исследований использовалась две группы крыс линии Wistar, по 12 особей в каждой, самцов вивария ФГБОУ ВО Воронежского государственного аграрного университета им. Императора Петра I, с равномерным и пропорциональным распределением по величине массы тела. Группы сформированы по завершении уравнительного периода, в процессе которого на протяжении одной недели всем особям подбирался идентичный сбалансированный полноценный комбикорм. Далее, животные 1 группы получали стандартный сухой корм в количестве 27 г на особь и 3 г необогащенного хлеба забайкальского в день, вода дистиллированная. Животные 2 группы получали 27 г сухого корма на особь и по 3 г обогащенного хлеба забайкальского в день, вода дистиллированная. Замер массы и габаритов животных производили в начале и в конце учетного периода. Материалом исследования служили кровь, сыворотка крови, внутренние органы (печень, почки, желудок, селезенка, 12-перстная кишка, семенники) крыс. Учетный период длился 21 сутки. Белые крысы находились в стандартных клетках на подстилке из мелкой древесной стружки по четыре особи. Температура воздуха в виварии – $21 \pm 1,0$ °С, влажность – 50 ± 20 %, объем воздухообмена (вытяжка : приток) – 8:10, световой режим (день : ночь) – 1:1. Животным был обеспечен постоянный доступ к пище и воде. Спустя 14 суток особей контрольной и опытных групп подвергали эвтаназии передозировкой хлороформом. В процессе исследования содержание животных, методология эксперимента и проведение эвтаназии осуществлялись в строгом соответствии с

Directive 93/119/E C, что обеспечивало соблюдение принципов гуманности на всех этапах работы. Вскрытие трупов белых крыс проводили в прозектории ФГБНУ «ВНИВИПФиТ». От всех животных была отобрана кровь и сыворотка крови в вакуумные пробирки для морфологических, биохимических исследований и газово-электролитного состава крови. Для гистологического исследований отбирали паренхиматозные (печень, почки, селезенка, семенники) и трубчатые органы (желудок, 12-перстная кишка). В образцах печени и семенников определяли содержание цинка атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре SHIMADZU AA-6300. Подготовку проб проводили методом мокрого озоления при повышенном давлении в микроволновой системе MARS-5. Фрагменты органов для гистологического исследования извлекали острым режущим инструментом и фиксировали в нейтральном забуференном растворе формалина 10 %. Обезвоживание гистологического материала выполнялась с использованием изопропанола, с последующей заливкой в парафиновую гранулированную среду. Нарезку парафиновых блоков производили с использованием микротомы МПС-2. Парафиновые срезы толщиной 2 - 3 мм подтапливали на водяной бане с дистиллированной водой и наносили на высокоадгезионные предметные стекла после чего, окрашивали гематоксилин-эозином. Микроскопирование производили с использованием светового микроскопа Биомед 4. Биохимические показатели крови определяли кинетическим методом с помощью автоматического биохимического анализатора EOS Bravo v.100. Гематологические показатели определяли импедансным методом на автоматическом анализаторе Hemascreen VET. Анализ электролитов и газов крови выполнен на анализаторе кислотно-щелочного равновесия, газов и электролитов сыворотки крови Screen lyte VET.

К смеси муки с обогащающей композицией применен метод биотестирования на стилонихиях (*Stylonychia mytilus*) с целью определения значения общей токсичности разработанной композиции. Используемый метод основан на извлечении из исследуемого образца различных фракций токсических веществ путем параллельного использования ацетонового и водного экстракта.

Результаты эксперимента оценивали по изменениям активности и выживаемости инфузорий в водных растворах перечисленных экстрактов по достижению заданного времени экспозиции. Сравнение выживаемости инфузорий производилось в соответствии с ГОСТ 31674-2012 между необогащенными образцами муки пшеничной хлебопекарной высшего сорта, муки пшеничной хлебопекарной цельнозерновой, и опытными образцами данных сортов муки с использованием обогащающей композиции из хитозана и цинка в соотношении муки к композиции 200:1. В качестве контроля выступало значение выживаемости инфузорий в выбранных растворах без внесения сырья, фиксировались средние значения численности организмов в пяти луночных микроаквариумах.

Определение подъемной силы дрожжей ускоренным методом осуществлялось в соответствии с ГОСТ Р 54731-2011. Определение влияния обогащающей композиции на газоудерживающую способность устанавливали по распываемости шарика теста, замешиваемого из 140 г муки и 85 см³ дистиллированной воды, в заданных условиях [107]. Для оценки распываемости, из сформированной заготовки выделяли две навески по 100 г каждая, формируя шарики и выдерживая их в термостате при температуре 30 °С. Для определения свойств сырой клейковины формировали шарик из 70 г исследуемой муки и 38,5 см³ дистиллированной воды, выдерживали его в термостате при температуре 30 °С на протяжении 30 минут, после чего вымывали клейковину водой при температуре 30 °С до постоянной массы. Исследуемыми образцами выступали два комка теста из образованной массы по 10 г каждый. Распываемость шарика теста и сырой клейковины определяли с промежутком в 30, 60, 120, 180 мин, фиксируя численные значения среднего диаметра контура шарика. В опытный образец вносили обогащающую композицию в количестве 0,2 г на 99,8 г исследуемой смеси муки [21]. Газообразующая способность теста, характеризующаяся количеством углекислого газа, выделяющегося за определённый промежуток времени в процессе брожения теста, устанавливалась

с применением ускоренного метода на приборе Яго-Островского. Измеряли объем вытесняемого образуемым газом раствора NaCl на протяжении 3 часов [49].

В процессе брожения теста отмечали изменение количества содержащихся микроорганизмов, конкретно молочнокислых бактерии и дрожжей, методом прямого подсчета с использованием счетной камеры Горяева. Попутно производили определение активной кислотности суспензии теста потенциометрическим методом с применением рН-метра. Контрольное тесто формировали из 50 г муки пшеничной хлебопекарной цельнозерновой, 50 г муки пшеничной хлебопекарной второго сорта, 0,5 г дрожжей хлебопекарных сухих быстродействующих и 66 см³ H₂O, опытный образец включал дополнительно 0,2 г обогащающей композиции, содержащей $25,9 \pm 0,3$ мг эссенциального цинка на 1 г композиции. В качестве сравнения также выступали пробы содержащие соразмерное количество чистого сульфата цинка либо хитозана. Исследуемым объектом выступала суспензия теста в разведении 1:100, количество микроорганизмов устанавливали с интервалом в 60 минут на протяжении четырех часов [16, 84]. Готовая суспензия теста окрашивалась раствором Люголя, для возможности идентификации малых структур крахмала.

Тесто для исследуемого хлебобулочного изделия готовили безопасным способом. Замес теста осуществляли в лабораторных условиях вручную, расстойка тестовых заготовок массой 600 г осуществлялась в расстойном шкафу при температуре 35 °С, выпечка – в лабораторной ротационной печи при температуре 230 °С в течение 60 мин. В опытном образце обогащающая композиция вносилась в количестве 0,4 % взамен количества муки пшеничной хлебопекарной второго сорта.

В качестве основы использовалась рецептура хлеба забайкальского формового по ГОСТ Р 58233-2018. Технологический процесс производства хлеба забайкальского состоит из ряда последовательных операций: растворения соли поваренной пищевой и дрожжей хлебопекарных прессованных в воде с $t=27$ °С, внесения порционно муки пшеничной хлебопекарной обойной и муки пшеничной хлебопекарной второго сорта, замеса теста, его дальнейшего брожения

продолжительностью в 240 минут, расстойки заготовок продолжительностью в 60 минут и выпекания хлеба при $t=230\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 60 минут [51]. В таблице 2.2 дается описание сырья, используемого в базовой рецептуре.

Муку пшеничную хлебопекарную обойную заменяли на муку пшеничную хлебопекарную цельнозерновую, близкую по технологическим свойствам к обойной, но характеризующуюся более высоким содержанием пищевых волокон, белковых и минеральных веществ, дрожжи хлебопекарные прессованные, на дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие, с целью ускорения процесса брожения и первичной подготовки теста в лабораторных условиях.

Таблица 2.2 – Рецепт хлеба забайкальского формового

Наименование сырья	Влажность, %	Содержание сухих веществ, %	Расход сырья на 100 кг муки, кг	
			в натуре	в сухих веществах
Мука пшеничная хлебопекарная обойная	10,8	89,2	50,0	44,60
Мука пшеничная хлебопекарная второго сорта	12,3	87,7	50,0	43,85
Соль пищевая	0,5	96,5	1,5	1,45
Дрожжи хлебопекарные прессованные	75,0	25,0	0,5	0,13
Вода	-	-	По расчету	-
Итого сырья	-	-	102,0	90,03

Сохранение стандартной рецептуры и технологических параметров обусловлено необходимостью изолированного изучения влияния обогащающей композиции на тестовые заготовки. Такой подход позволяет исключить

воздействие сторонних факторов и объективно оценить эффект от введения функционального ингредиента. Использование базовой технологии обеспечивает прямое сопоставление с традиционным продуктом и подтверждает возможность промышленного внедрения без изменения существующих производственных регламентов.

Минимальная модификация сырья, замена муки пшеничной хлебопекарной обойной на муку пшеничную хлебопекарную цельнозерновую и дрожжей хлебопекарных прессованных на дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие, не потребовала корректировки технологического процесса, поскольку подобранные аналоги сохраняют ключевые физико-химические характеристики теста. Применение обогащающей композиции в стандартной рецептуре не выявило необходимости существенного изменения установленных технологических параметров приготовления.

Оценку хранимостпособности производили путем сравнения микробиологических показателей хлеба, а именно количества мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерий группы кишечных палочек (БГКП), плесени и дрожжей в течении 24; 48; 72 часов. Хранение готовых изделий осуществлялось в соответствии с ГОСТ 8227-56. Показатель КМАФАнМ устанавливали в соответствии с ГОСТ 10444.15-94, БГКП в соответствии с ГОСТ 31747-2012, плесневых грибов и дрожжей по ГОСТ 10444.12-2013 [16, 84, 151]. Вкус, цвет, запах готовых изделий устанавливали в соответствии с ГОСТ 5667-2022. Пористость мякиша определяли по ГОСТ 5669-96, титруемую кислотность по ГОСТ 5670-96. Расчет соотношения Б;Ж;У, аминокислотного и элементного состава хлеба на основе литературного анализа справочной информации [130]. Выход изделий вычисляли по методу НИИХП, указанному в [139].

Патент на изобретение обогащающей композиции и обогащенного цинком хлеба, а также технические условия и акты опытно-промышленной апробации производства хлеба, обогащенного композицией из хитозана и цинка приведены в приложении 3.

2.4 Математические методы обработки результатов исследований

Представленные в диссертации научные положения и выводы подтверждаются применением современных методов сбора и анализа данных, включая стандартные общепринятые и специальные органолептические, физические, химические, а также аналитические методы и методики исследований. Кроме того, достоверность результатов была подтверждена корреляцией данных, полученных в лабораторных и производственных условиях, что обеспечивает высокую степень надежности исследования.

В процессе выполнения экспериментальных исследований, опыты проводили не менее чем в 3-5 кратной повторности. Табличные и графические данные представлены в виде средних арифметических величин. Обработку полученных экспериментальных данных проводили с доверительной вероятностью $P = 95 \%$, с использованием программного обеспечения и прикладных комплексов StatSoft Statistica и Microsoft Office.

ГЛАВА 3. РАЗРАБОТКА ОБОГАЩАЮЩЕЙ ПИЩЕВОЙ КОМПОЗИЦИИ ИЗ ХИТОЗАНА И ЦИНКА

3.1 Обоснование применения хитозана в качестве носителя эссенциального элемента

Сравнение важных физико-механических свойств сорбентов произведено с целью выбора наиболее эффективного носителя элементов в методах физической иммобилизации. Проанализированы хитозан и целлюлоза, как наиболее доступные и возобновляемые безопасные биополимеры. Применена нерастворимая высушенная форма хитозана наиболее подходящая с точки зрения поставленной технологической задачи. В тоже время, в качестве модельных объектов сопоставимых по целям применения и технологическим свойствам использовали широко применимые в фармацевтической и пищевой промышленности сорбенты – уголь активированный марки БАУ-А и коллоидный диоксид кремния, представляющие собой легко возобновляемые и высоко эффективные адсорбенты, не способные к расщеплению в организме, однако выделяющиеся сопоставимыми сорбирующими свойствами [40, 57].

Производили сравнение следующих физико-механических свойств перечисленного сырья: коэффициента растворимости, коэффициента набухаемости, механической прочности, а также удельного объема, насыпного веса, истинной плотности, и влажности. Все перечисленные характеристики имеют важное значение в применении сорбентов, вне зависимости от источника их происхождения. Однако, с точки зрения поставленной задачи по десорбции готовой композиции в условиях желудочно-кишечного тракта важно обратить внимание на показатель коэффициента растворимости в соляной кислоте. В тоже время, механическая прочность, характеризующаяся способностью сорбента удерживать закрепляемую фазу после возникновения физического воздействия извне, демонстрирует устойчивость готовой композиции в процессе хранения и последующего применения.

Таблица 3.1 – Сравнение физико-механических свойств выбранных сорбентов

Название Характеристика	Уголь	Хитозан	Целлюлоза	SiO ₂
Коэффициент растворимости, г/см ³	1*10 ⁻⁴	2*10 ⁻²	4*10 ⁻⁴	2*10 ⁻⁴
Коэффициент набухаемости, см ³ /г	0,59	2,40	0,94	0,74
Насыпной вес, г/см ³	0,54	0,77	0,17	0,05
Истинная плотность, г/см ³	1,10	1,15	1,08	1,12
Влажность, %	3,33	9,43	3,70	9,22
Удельный объем, см ³ /г	2,25	3,40	5,41	15,42
Механическая прочность, %	80,95	90,50	94,90	96,80

Полученные результаты свидетельствуют о существенном различии в физико-механических свойствах выбранных сорбентов. Не смотря на высокую эффективность сорбирующих свойств, уголь активированный марки БАУ-А, коллоидный диоксид кремния и целлюлоза микрокристаллическая демонстрируют крайне низкое значение коэффициента растворимости в соляной кислоте. Существеннее выделяется по данному показателю хитозан, растворимость которого снижается лишь после достижения указанного значения. Показатель механической прочности перечисленного сырья не превышает 90 % лишь в случае угля активированного, в качестве лидера можно отметить SiO₂. Установленные значения коэффициента набухаемости, насыпного веса, истинной плотности, влажности и удельного объема потенциальных носителей удовлетворяют требованиям поставленной технологической задачи.

Среди перечисленного сырья, наиболее доступного в экономическом и количественном эквиваленте, хитозан отмечается биodeградируемостью и растворимостью в растворах органических и неорганических кислот. В тоже время, способность к эффективной сорбции, биосовместимость, низкая токсичность и возможность связывать широкое количество соединений выделяет

данный аминополисахарид как наиболее перспективный и выгодный носитель в методах физической и химической иммобилизации эссенциальных элементов.

Не менее важной для промышленных сорбентов является величина обменной емкости (ОЕ), а конкретно – статическая обменная емкость (СОЕ), характеризующаяся общим числом ионов, сорбированных единицей объема выбранного материала в равновесных условиях [14]. Отмечаемая характеристика позволяет оценить потенциал сорбции сырья, в наиболее выгодных условиях рН среды. В таблице 3.2 отображены данные определения пикового значения СОЕ в диапазоне рН измеряемом согласно методике, совместно с величинами полной статической обменной емкости (ПСОЕ), характеризующейся общим числом функциональных групп способных к обмену ионами и равновесной статической обменной емкости (РСОЕ), характеризующейся количеством ионов поглощаемых в установленных условиях.

Таблица 3.2 – Сравнение значений ПСОЕ, РСОЕ и пиковой СОЕ выбранных сорбентов в растворе NaOH.

Характеристика	СОЕ, мг-экв/г	ПСОЕ, мг-экв/г	РСОЕ, мг-экв/г
Хитозан	0,52	1,05	10,43
Целлюлоза	0,44	0,92	10,00

Хитозан, представляет собой органический ионит природного происхождения, способный проявлять в меньшей степени свойства слабоосновного анионита, в большей степени высоко эффективного катионита, что обеспечивается благодаря наличию свободных аминогрупп и возможности образовывать большое количество водородных связей [39]. В частности, в отличие от целлюлозы, $-NH_2$ группа обуславливает так же и хелатообразующие свойства аминополисахарида, что позволяет прочно закреплять ионы эссенциальных металлов, таких как: цинк, медь, железо, кобальт, в меньшей степени марганец, а также кадмий, хром [78, 153]. Однако, стоит отметить, что щелочные и щелочноземельные металлы крайне плохо адсорбируются хитозаном,

что говорит о неэффективности применения данного носителя с целью закрепления биологически значимых элементов из данного списка [20].

Далее, на рис. 3.1 отображается зависимость фиксируемого значения COE в заданных условиях.

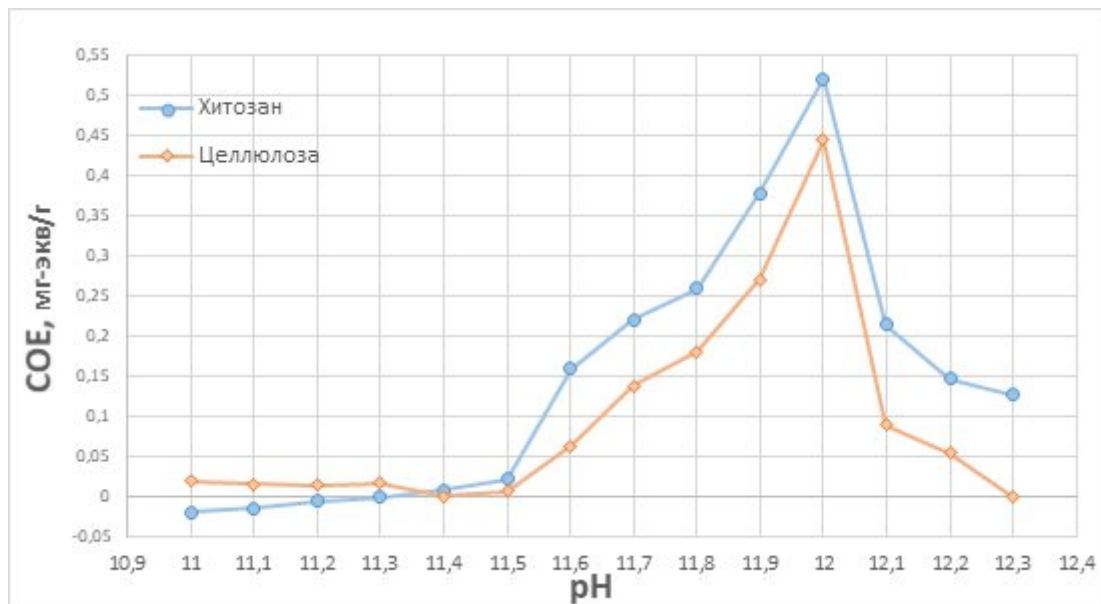


Рисунок 3.1 – График зависимости величины COE от pH среды

Полученный результат свидетельствует о высоком сорбирующем потенциале хитозана, демонстрируемом существенными, для несинтетического сорбента, показателями COE и важен для оценки дальнейших возможностей применения хитозана в качестве носителя эссенциальных элементов. Особенности строения аминополисахарида обеспечивают возможность сорбции благодаря как силе Ван-дер-Ваальсовых взаимодействий, так и протеканию химической реакции. Также, существуют данные о том, что модифицированные соединения хитозана по свойствам катионита способны приближаться к синтетическим промышленным сорбентам [73, 77].

Применяемый в работе хитозан получен из панцирей морских креветок и краба методом щелочного деацетилирования. Степень деацетилирования аминополисахарида составляет более 90 %. Характеристики материала включают: насыпную плотность 0,36 г/мл, вязкость 57 мПа·с в 1 % растворе в уксусной кислоты и удельную поверхность 5,49 м²/г.

Для обеспечения сорбции эссенциальных элементов предпочтительны хитозаны с преобладанием средне- и высокомолекулярных фракций, где развитая длина полимерных цепей обеспечивает оптимальную плотность аминогрупп при сохранении пористой структуры.

Для используемого хитозана характерна преобладающая аморфная структура, что обусловлено особенностями метода производства – щелочным деацетилированием в условиях высокой температуры.

Необходимо учитывать, что применяемый для выделения хитозана материал, как и степень его деацетилирования оказывают влияние на физико-химические свойства аминополисахарида [65, 85]. В тоже время, без необходимости многоступенчатых и сложных изменений в технологическом процессе производства композиции, а также затрат на дополнительные сшивающие агенты нерастворимая в воде форма хитозана демонстрирует широкий потенциал применения в методах физической иммобилизации. С целью минимизации процессов нейтрализации кислотно-щелочной среды готовой композиции и, как следствие, усложнения технологических процессов производства, а также ввиду затруднения работы с дрожжевыми суспензиями принято решение проведения последующей работы в условиях, соответствующих нейтральным растворам.

3.2 Определение оптимальных условий закрепления цинка на поверхности хитозана

Основываясь на базовых положениях методов адсорбционной физической иммобилизации разработан способ закрепления эссенциального цинка на поверхности хитозана. Для этого, в дистиллированной воде растворяли неорганическую форму фиксируемого элемента, вносили требуемое количество сорбента, перемешивали раствор до однородной суспензии, после чего настаивали полученную смесь в течении установленного времени. Полученный раствор отфильтровывали через беззольный фильтр, после чего – носитель с

закрепленным микроэлементом высушивали при температуре в 100 °С в течении 120 минут.

Для определения необходимого количества закрепляемого элемента для обогащения выбранной базовой рецептуры хлеба забайкальского формового произвели расчет потребности в цинке. Согласно методическим рекомендациям МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.) суточная потребность в цинке, с расчетом на вдыхание данного элемента с воздухом порядка 0,1 мг/сутки, составляет: 12 мг/сутки для взрослого населения, от 3 до 12 мг/сутки для детей и от 12 до 15 мг/сутки для беременных и кормящих женщин. Современные рекомендации опираются на верхний порог потребления цинка равный 40 мг/сутки, однако данный предел требует дальнейшего изучения [108].

В соответствии с рекомендациями по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания утверждёнными приказом Минздрава России от 19 августа 2016 за среднюю суточную норму потребления хлебных продуктов принята порция в 270 г, включающая в себя не менее 170 г продуктов, изготовленных с применением муки хлебопекарной [114]. Для предотвращения дефицита эссенциального цинка, как и в целях недопущения интоксикации данным металлом, в указанной массе изделия обогащаемый компонент должен находиться в пределах от 2,25 до 4,5 мг на 100 г. С опорой на перечисленные значения и требования к ГОСТ Р 55577-2013, предложен способ приготовления «Хлеба забайкальского обогащенного цинком» с содержанием эссенциального цинка в количестве 3,39 мг на 100 г изделия, что составляет 28,25 % от суточной нормы.

С целью определения оптимальной массы носителя необходимого для закрепления заданного количества цинка производили сравнение влияния веса используемого сорбента на объем адсорбируемого цинка. С учетом значения усвояемости выбранной формы элемента далее сравнивали сорбцию 30 мг цинка,

внесенного в виде 0,1319 г $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, на поверхности хитозана в навесках по 0,5; 1,0; 2,0; 3,0; 4,0 г [28].

В результате проведенных экспериментов было установлено, методом комплексонометрического титрования, что оптимальная масса хитозана для сорбции 30 мг цинка, внесенного в виде 0,1319 г $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, находится в пределах от 0,5 до 1,0 г. При увеличении массы сорбента наблюдался незначительный рост количества адсорбируемого цинка, не пропорциональный возросшему объему носителя, указывающий на то, что использование большей массы сорбента не приводит к существенному улучшению эффективности сорбции в заданных условиях. С точки зрения экономической целесообразности, применение навески хитозана в 1,0 г представляется более рациональным, в следствии незначительного повышения результатов сорбции, достигаемых при использовании проб большей массы.

Закономерно отмечается связь между повышением массы носителя и эффективностью закрепления элемента. Можно предположить, основываясь на полученных результатах, что оптимальным для сорбции 30 мг цинка в форме $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ является навеска хитозана в интервале от 0,5 до 1,0 г, с пропорциональным повышением массы сорбента при необходимости увеличения количества закрепляемого Zn.

Далее, установлен максимальный объем сорбции цинка в выбранной форме на 1,0 г хитозана. Для приготовления рабочих растворов использовали следующие массы сульфата цинка: 0,13; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 и 4,0 г. Полученные результаты демонстрируют предельный объем закрепляемого цинка на 1,0 г хитозана не превышающий $162 \pm 0,5$ мг. Максимально сохраняемое количество элемента из растворов разной концентрации отображено на рисунке 3.2.

Для оптимизации и ускорения процесса приготовления композиции из хитозана и цинка установлено минимальное время необходимое для сорбции 30 мг Zn в выбранных массах сорбента. Время необходимое для достижения максимальной сорбции элемента составляет: для навески в 0,5 г хитозана не менее 5 часов, для навески в 1,0 г не менее 2.

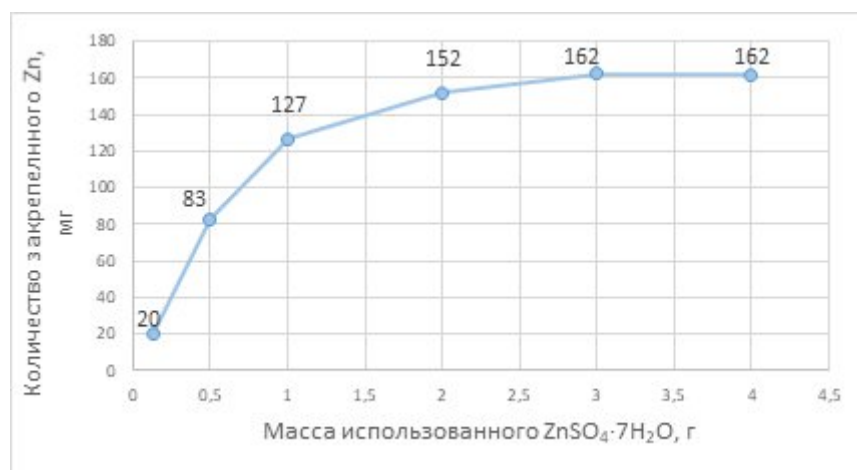


Рисунок 3.2 – Максимальный объем сорбции цинка в форме $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ на поверхности 1 г хитозана

Данные по изменению количества адсорбированного цинка в процессе настаивания отображены в рисунке 3.3.

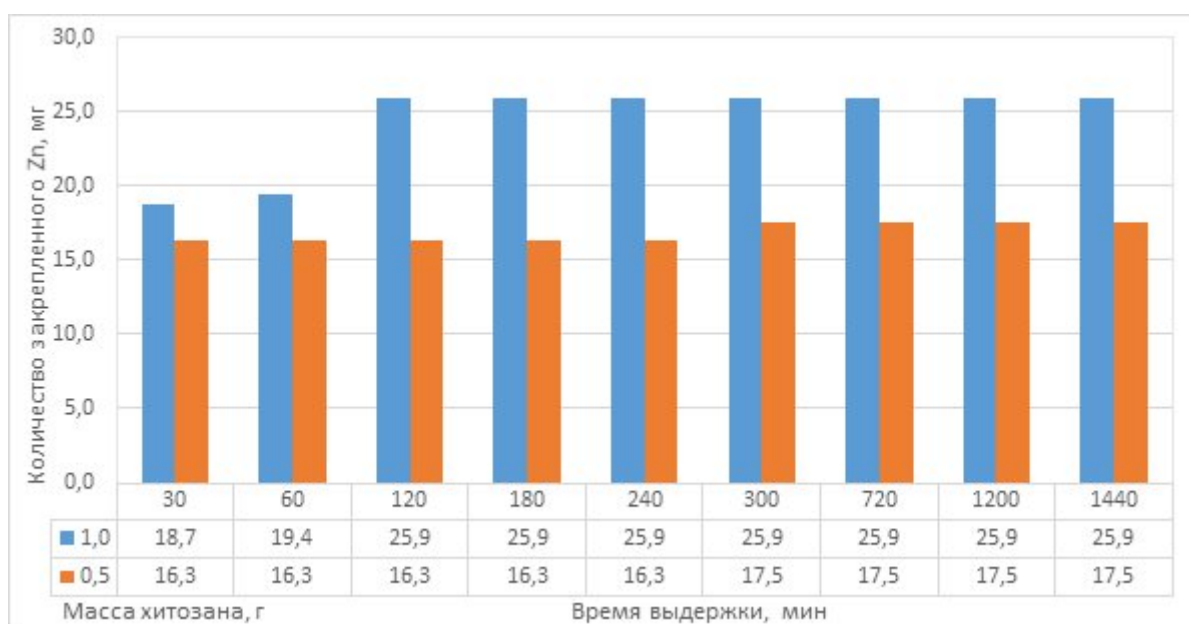


Рисунок 3.3 – Гистограмма зависимости количества закрепляемого элемента от времени выдержки сорбента в растворе

С целью наиболее точного измерения концентрации цинка, закрепляемого на поверхности хитозана, выбранную навеску готовой композиции исследовали методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Изучали образцы высушенной и готовой к эксплуатации композиции, произведенной из 1,0 г хитозана сорбирующего цинк из раствора, содержащего 0,1319 г $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$.

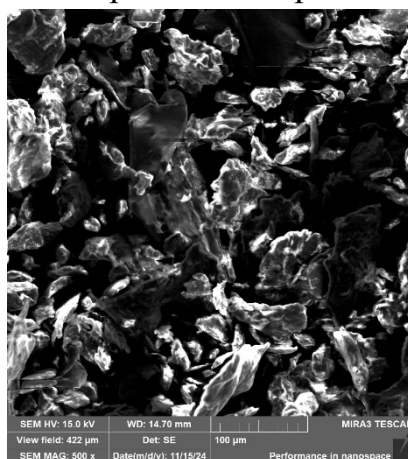
Полученные данные свидетельствуют о том, что в 1 г готовой композиции содержится $25,9 \pm 0,3$ мг адсорбированного цинка. В чистом хитозане, использованном в качестве носителя, цинк обнаружен не был. Регистрограмма сигнала определяемого элемента отображена в приложении 4.

Попутно, получены снимки СЭМ изображения образца композиции, на основе которых произведено ЭДС-картирование и сформирован суммарный спектр фиксируемых элементов. Определение подготовленного и высушенного образца обогащающей композиции, содержащей $25,9 \pm 0,3$ мг закрепленного цинка, производилось параллельно исследованию необработанного образца хитозана, что отображается на рисунке 3.4.

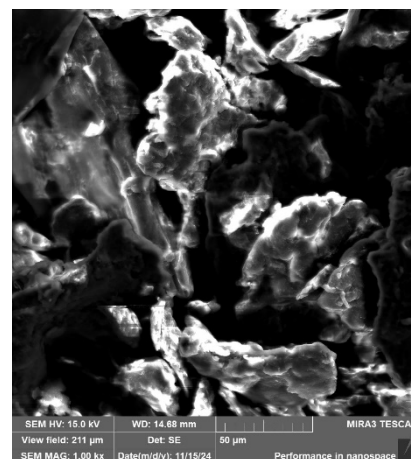
Контрольный образец



Увеличение x200

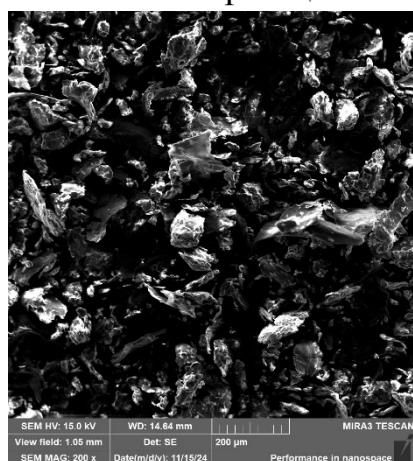


Увеличение x500

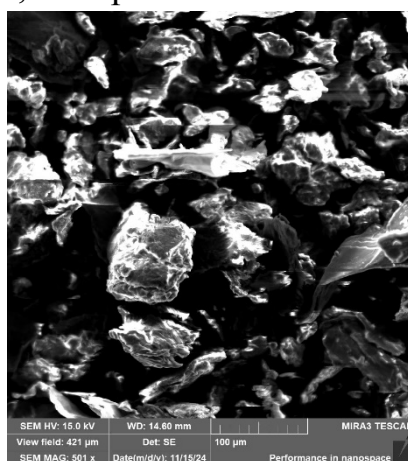


Увеличение x1000

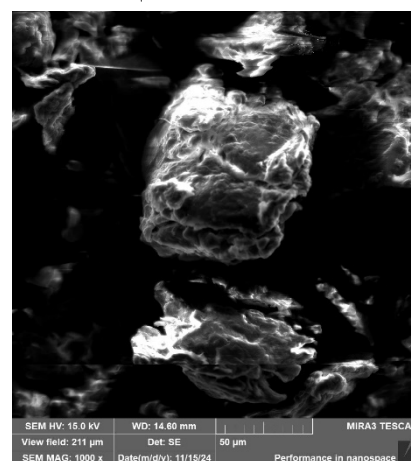
Образец хитозана, с закрепленным на поверхности цинком



Увеличение x200



Увеличение x500



Увеличение x1000

Рисунок 3.4 – СЭМ изображение необработанного и прошедшего процесс сорбции хитозана

На основе полученных методом сканирующей электронной микроскопии изображений появилась возможность провести ЭДС-картирование, представляющее собой анализ распределения элементного состава обработанного хитозана, что позволяет более детально изучить его химическую однородность. ЭДС-картирование, а также суммарный спектр элементов исходного необработанного полимера и образца хитозана с закрепленным на поверхности цинком отображены в приложении 4.

Анализ суммарного спектра элементов образца показал наличие пиков, относящихся к щелочным и щелочноземельным металлам, что может быть обусловлено методом производства хитозана, включающим обработку хитина растворами гидроокисей. Остальные элементы, обнаруженные в спектре, вероятно, присутствуют в следовых количествах или могли быть занесены в процессе пробоподготовки. Несмотря на высокую чувствительность метода анализа и потенциальные риски загрязнения исследуемых проб, полученные результаты позволяют успешно детектировать цинк на поверхности сорбента, в противовес полному отсутствию элемента в необработанном хитозане, что подтверждает успешное выполнение поставленной задачи по формированию устойчивой композиции из выбранного биополимера и эссенциального микроэлемента.

На основании полученного изображения поверхности можно сделать вывод о том, что хитозан демонстрирует морфологию, типичную для аморфных полимеров с высокой степенью деацетилирования: рыхлые агрегаты неправильной формы без выраженных кристаллических граней. Такая структура согласуется с методом получения, механической обработкой хитина в щелочной среде и в условиях высокой температуры, который способствует формированию неупорядоченной полимерной матрицы. Отсутствие четких кристаллических граней свидетельствует о преимущественно неупорядоченной организации макромолекул.

В процессе иммобилизации цинка наблюдаются значительные изменения микрорельефа сорбента. Поверхность частиц приобретает более сглаженный

характер, что вероятно связано с образованием координационных комплексов между ионами металла и аминогруппами хитозана. Одновременно наблюдается появление локальных уплотнённых участков, которые, предположительно, могут соответствовать зонам кластеризации цинка. Важно отметить сохранение общей пористой архитектуры материала, хотя распределение межчастичных полостей становится более неоднородным, что объясняется перестройкой полимерной матрицы.

Образование новых морфологических особенностей объясняется несколькими взаимосвязанными процессами: сорбцией закрепляемого элемента, в частности – хемосорбцией цинка на активных центрах ($-\text{NH}_2$, $-\text{OH}$), приводящей к конформационным изменениям полимерных цепей, а также возможным формированием наноразмерных гидроксокомплексов металла на поверхности. Наблюдаемое увеличение шероховатости поверхности свидетельствует о структурной модификации, которая теоретически может способствовать повышению доступности активных центров.

Отсутствие крупных кристаллических образований цинка свидетельствует о равномерном распределении металла в полимерной матрице сорбента. Полученные данные позволяют предположить преимущественно поверхностную локализацию иммобилизованных ионов, однако для более точного определения пространственного распределения требуется проведение дополнительных исследований. Изменения микроструктуры подтверждают эффективность использованного метода иммобилизации и сохранение функциональных свойств носителя после модификации.

Особый интерес представляет взаимосвязь между наблюдаемыми морфологическими изменениями и сорбционной ёмкостью материала. Появление новых структурных элементов при сохранении многоуровневой пористости создаёт оптимальный баланс между доступностью активных центров и стабильностью полимерной матрицы, что критически важно для контролируемого высвобождения ионов цинка в биологических системах.

На основании собранных данных предложен способ получения обогащающей композиции из хитозана и цинка, включающий растворение 0,1319 г $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ в 100 см³ воды дистиллированной, добавление к раствору хитозана в количестве 1,0 г, перемешивание полученной суспензии в течении 30 минут и настаивание в течение не менее 120 минут. Далее, излишки жидкости отфильтровываются через беззольный фильтр, а носитель с закрепленным микроэлементом высушивается в сушильном шкафу при температуре не менее 100 °С в течении 120 минут. Рекомендуется хранить готовую композицию в герметичной упаковке, в условиях комнатной температуры, в сухом месте для обеспечения оптимальных условий хранения функционального пищевого ингредиента. В 1,0 г готовой к применению композиции содержится $25,9 \pm 0,3$ мг эссенциального цинка, что, с учетом усвояемости сульфата цинка (II) не превышает предельно допустимой суточной нормы потребления элемента. В зависимости от поставленных целей допустимо соразмерное повышение массы сорбента и массы вносимой соли эссенциального элемента.

ГЛАВА 4. ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОБОГАЩАЮЩЕЙ КОМПОЗИЦИИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ

4.1 Исследование технологических свойств обогащающей композиции

С целью оценки влияния обогащающей композиции из хитозана и цинка на технологические параметры полуфабрикатов из теста исследованы следующие показатели: влияние композиции на подъемную силу дрожжей, газодерживающую способность (ГУС) муки, газообразующую способность (ГОС) теста и активную кислотность в процессе брожения. Каждый из исследуемых показателей имеет определенное значение в процессе формирования, расстойки и брожения теста.

Влияние, потенциально оказываемое хитозаном, касается как свойств теста в процессе брожения, так и конечных характеристик готовых хлебобулочных изделий. К таковым относят газодерживающую силу, определяющуюся устойчивостью шарика теста к расплываемости и демонстрирующую способность к сохранению формы изделия в процессе выпечки, а также пористость хлеба, не в меньшей степени зависящую от количества образуемого в процессе брожения углекислого газа [48, 125]. В свою очередь цинк играет ключевую роль в жизнедеятельности дрожжей и бактерий, выступая кофактором для активации ферментов, участвуя в синтезе белков, а также способствуя росту и размножению клеток, что может сказаться как на подъемной силе дрожжей, так и величине выделяемого углекислого газа [36, 116, 179]. Все исследуемые далее показатели устанавливали с обогащением исходного теста в соотношении 0,2 г обогащающей композиции (содержащей $25,9 \pm 0,3$ мг эссенциального цинка) на 99,8 г муки.

Газообразующая способность муки определяется количеством углекислого газа, выделяющегося в процессе спиртового брожения, осуществляемого дрожжами и, в меньшей степени, молочнокислыми бактериями. В ходе брожения содержащихся в муке сахаров, под действием ферментов дрожжевых клеток, происходит образование ацетальдегида с выделением углекислого газа и

последующее восстановление уксусного альдегида до этанола. Интенсивность брожения оценивается по количеству углекислого газа, выделяющегося за заданный период времени с применением установленных пропорций муки, воды и дрожжей. При определении показателя газообразующей способности муки на приборе Яго-Островского ускоренным методом низкую газообразующую способность будет иметь образец, накопивший менее 850 см³ CO₂ в течение 3 часов брожения, среднюю – образец, накопивший от 850 до 1050 см³ CO₂, высокую – образец, накопивший более 1050 см³ CO₂ [49]. На рисунке 4.1 отображено влияние вносимой композиции на газообразующую способность, использованной в рецептуре хлеба забайкальского смеси муки пшеничной хлебопекарной II сорта и муки пшеничной хлебопекарной цельнозерновой. Композиция из хитозана и цинка внесена в указанном ранее соотношении. В качестве объекта сравнения выступает чистая смесь муки. Параллельно исследовали смеси, обогащенные чистым сульфатом цинка и хитозаном, с расчетом на соразмерное композиции содержание перечисленного сырья.

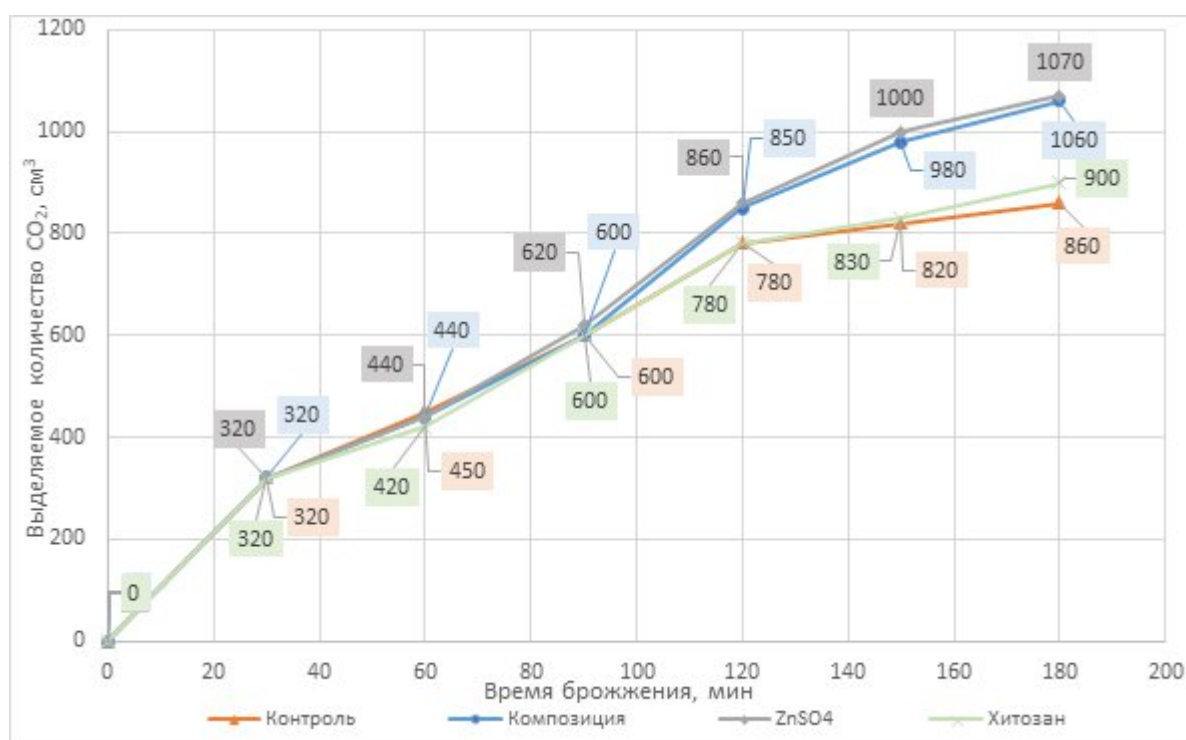


Рисунок 4.1 – Влияние вносимой композиции на количество CO₂, образуемого в процессе брожения

Согласно полученным данным, смесь пшеничной хлебопекарной муки II сорта и муки пшеничной хлебопекарной цельнозерновой обладает средней газообразующей способностью, которая увеличивается при добавлении обогащающей композиции с иммобилизованным цинком или чистого сульфата цинка. В результате значение газообразующей способности образцов, сформированных с внесением обогащающей композиции и сульфата цинка достигает уровня, характерного для муки с высокой газообразующей способностью. Газообразующая способность обуславливается содержанием собственных сахаров муки, а также её сахарообразующей способностью, зависящей от активности амилолитических ферментов, однако, кроме простых сахаров, для нормального развития дрожжей необходимо также наличие широкого ряда микро- и макронутриентов, к которым относится и цинк [35].

На диаграмме заметно снижение газообразования у контрольных и обогащённых чистым хитозаном образцов, начиная со второго часа брожения. В то же время отмечается интенсификация выделения CO_2 у проб, содержащих чистую навеску сульфата цинка и разработанную композицию, что может быть обусловлено присутствием биодоступных форм хитозана и цинка. Присутствие дополнительного источника эссенциального элемента способствует увеличению выделения CO_2 за счёт повышения ферментативной активности микроорганизмов и улучшения усвоения углеводов в тесте. Имеются данные, подтверждающие влияние цинка на процессы активации групп ферментов, в частности: инвертазы, глюкоамилазы, альдолазы, протеаз и алкогольдегидрогеназ [179, 186]. Помимо прочего, активность ряда из перечисленных ферментов катализирует гидролиз сахаров в тесте и способствует повышению выделяемого в процессе брожения углекислого газа [53]. Благодаря активной реакционной способности хитозан, предположительно, образует метало-органические соединения с адсорбированным цинком, что в свою очередь увеличивает биодоступность закрепляемого элемента. Применение нерастворимой формы аминополисахарида обеспечивает устойчивую сорбцию цинка и способствует повышению сохраняемости элемента на поверхности носителя в предусмотренных

технологических процессах. В то же время механическая прочность хитозана, равная 90,50 %, подразумевает десорбцию части закрепляемых элементов в тесто, что в свою очередь также повышает доступность цинка для усвоения.

Не менее важную роль играет показатель газодерживающей способности, отражающийся, помимо прочего, в параметре «силы» используемой муки, характеризующейся возможностью теста удерживать форму, а также выделяемый CO_2 при увеличении заготовки в объеме в процессе расстойки и релаксации [107]. На рисунке 4.2 отображено влияние вносимой композиции на расплываемость шарика теста, где в качестве контрольного образца выступало тесто, изготовленное из смеси муки пшеничной хлебопекарной II сорта и муки пшеничной хлебопекарной цельнозерновой, в качестве сравнения производилось также определение расплываемости шарика теста, обогащенного чистым сульфатом цинка либо хитозаном, с расчетом на соразмерное композиции содержание перечисленного сырья. На основании полученных результатов можно сделать вывод о принадлежности смеси муки к следующим категориям: сильная мука, характеризующаяся расплываемостью до 83 мм; средняя мука, характеризующаяся расплываемостью в диапазоне от 83 до 97 мм; слабая мука – более 97 мм.

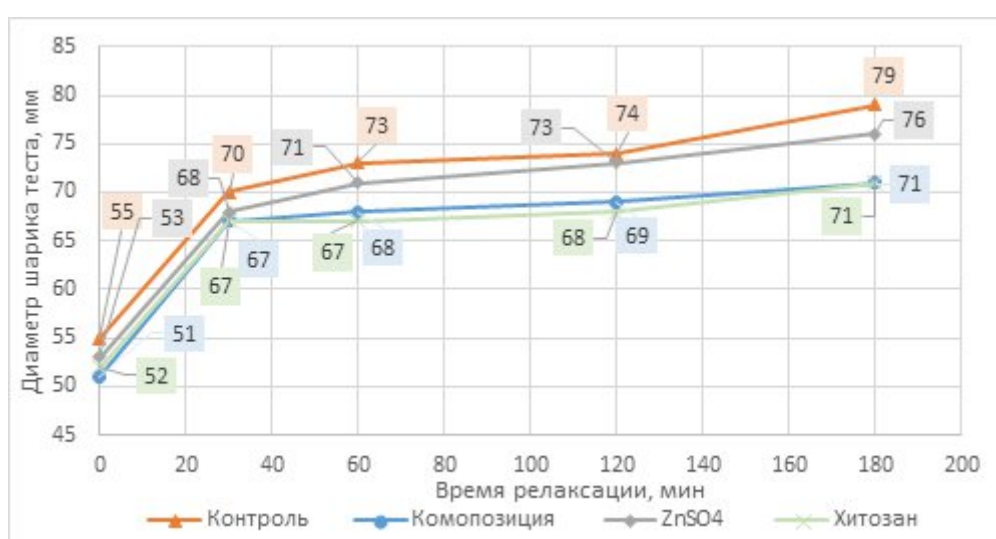


Рисунок 4.2 – Влияние вносимой композиции на расплываемость шарика теста в течении 3-х часов релаксации

На рисунке 4.3 отображена диаграмма влияния вносимой обогащающей композиции на свойства сырой клейковины.

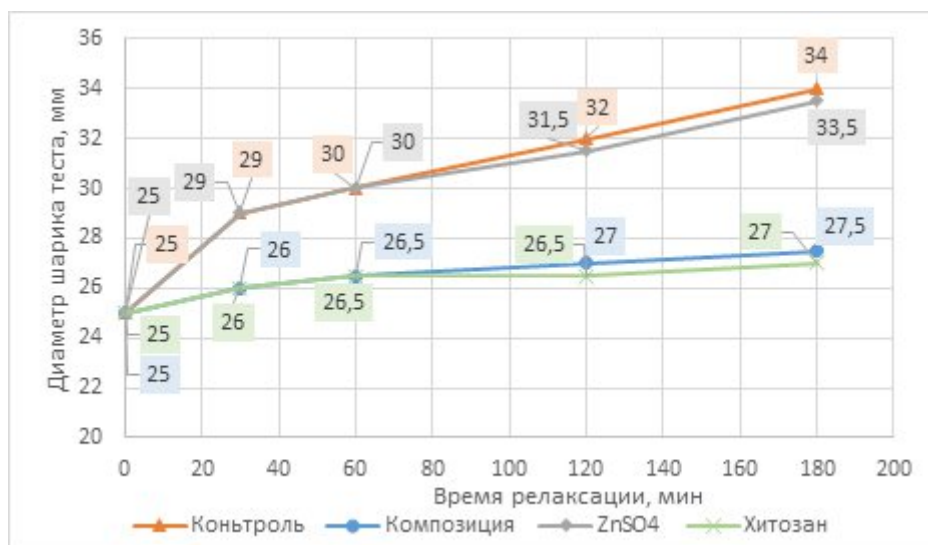


Рисунок 4.3 – Влияние вносимой композиции на свойства сырой клейковины в течении 3-х часов релаксации

Исходя из полученных результатов диаметра шарика, измеряемых на протяжении трех часов можно сделать вывод о качестве клейковины применяемой муки. Сильная клейковина характерна образцам диаметр шарика у которых по достижении заданного времени не превышает 38 мм, средняя характерна для образцов диаметром от 38 до 70 мм, слабая для образцов диаметром более 70 мм.

Все исследуемые образцы теста соответствуют муке категории «сильная», при этом наименьшая расплываемость шарика обнаружена у проб сформированных с внесением обогащающей композиции и хитозана. Полученные данные позволяют характеризовать клейковину в используемой смеси муки как «сильную», с снижением расплываемости при внесении композиции содержащей хитозан. Достигается описываемое явление, предположительно, благодаря структурообразующей способности аминополисахарида, что позволяет опытной заготовке лучше удерживать заданную форму. Однако излишняя устойчивость теста к деформации может оказать влияние на подъем готового изделия, что необходимо брать в расчет при увеличении соотношения вносимого хитозана к муке.

Полученные сведения о влиянии разработанной композиции, как и ее сырьевых источников на показатели газообразующей и газодерживающей способности подтверждаются литературными данными. В тоже время, хитозану свойственно влияние на рост деформации тестовых заготовок при применение повышенных дозировок сорбента, из расчета 20 % и более от массы муки, что оказывает влияние на увеличение растяжимости и упругости клейковины [67, 176, 217].

Наблюдение за изменением окраски шарика теста на протяжении трех часов позволяет дать оценку способности муки к потемнению. Благодаря изначальному содержанию в составе смеси муки пшеничной II сорта и муки пшеничной цельнозерновой фермента, катализирующего окисление аминокислоты тирозина – полифенолоксидазы (тирозины), а также свободному тирозину, открытая для взаимодействия с кислородом воздуха внешняя поверхность расплывающегося шарика теста в процессе релаксации приобретает значительно более темную окраску, что наблюдается в сравнении с нижней поверхностью, защищенной стеклом. Выбранные сорта муки, в сравнении с мукой высшего или I сорта, обладают повышенным содержанием свободного тиразина, что сказывается на итоговом, более темном, цвете готовых изделий. Несмотря на то, что в большей степени на потемнение муки оказывает влияние содержание в ней фенолов и свободного тирозина, чем непосредственно ферментативная активность, по всей видимости, внесение дополнительных источников цинка не оказывает влияния на изменение цвета теста и итогового мякиша, так как цинк не принимает участие как в процессе активации указанного фермента, так и в окислении аминокислоты. В тоже время – количество используемого для формирования обогащающей композиции хитозана недостаточно велико, чтобы повлиять на окраску формируемого изделия [218].

В таблице 4.1 отображено среднее время необходимое для всплывания шарика теста с дрожжами в воде, нагретой до 35 °С. Данный показатель дает возможность оценить влияние вносимых компонентов на подъемную силу дрожжей, что в свою очередь играет роль в скорости подъема теста в процессе

брожения. Полученные данные демонстрируют отсутствие существенного влияния внесения обогащающей композиции на подъемную силу дрожжей. Стоит подчеркнуть, что контрольный образец не обогащенного шарика теста имеет наименьшее время всплывания, что может говорить о замедлении процессов жизнедеятельности дрожжей при непосредственном контакте с используемой солью цинка. Наблюдаемое явление подтверждается литературными данными, свидетельствующими о том, что прямое внесение как цинка, так и хитозана способно оказать угнетающее воздействие на подъемную силу дрожжей при непосредственном контакте в процессе активации дрожжевой суспензии. В то же время авторами исследований отмечается потенциал активирующего действия цинка при соблюдении соответствующих условий, ввиду необходимости данного элемента в процессах естественного функционирования дрожжевой клетки и позитивного влияния на цинксодержащие ферменты [60, 138].

Основываясь на имеющихся данных следует отметить не целесообразность внесения обогащающей композиции на технологических этапах, предшествующих активации дрожжей. Далее в работе внесение разработанной композиции осуществлялось в процессе замеса формируемого теста, не допуская прямого контакта раствора активированных дрожжей с используемой формой цинка.

Таблица 4.1 – Сравнение влияния вносимой композиции на показатель подъемной силы дрожжей

Опытный образец	Среднее время подъема шарика, мин	Среднее время подъема шарика * К (по ГОСТ Р 54731-2011), мин
Контрольный образец	9,44	33,0
Образец, обогащенный композицией из хитозана и цинка	9,54	33,4
Образец, обогащенный сульфатом цинка	10,42	36,5
Образец, обогащенный хитозаном	9,72	34,02

Для более точной оценки влияния вносимой композиции на активность роста количества дрожжей и МКБ производили прямой подсчет общего числа клеток микроорганизмов в счетной камере Горяева. Одновременно с этим устанавливали активную кислотность используемой суспензии теста, для оценки интенсивности изменения водородного показателя на протяжении всего процесса брожения.

Полученные результаты характерны для теста из выбранных сортов муки. Внесение обогащающей композиции, как и чистого сульфата цинка, закономерно способствует общему снижению pH теста, в то время как при внесении хитозана наблюдается незначительное повышение активной кислотности ввиду слабощелочной среды аминополисахарида. Динамика изменения водородного показателя отображена на рисунке 4.4.



Рисунок 4.4 – Изменение водородного показателя в процессе брожения теста с внесением обогащающей композиции

На рисунке 4.5 изображены объекты исследования роста числа микроорганизмов в контрольной и обогащаемой пробе теста. Подсчет числа клеток дрожжей производили в поле зрения большого квадрата счетной сетки, площадью $1/25 \text{ мм}^2$, число клеток МКБ устанавливалось в пределах малых квадратов площадью, которых составляет $1/400 \text{ мм}^2$.



а)

б)

в)

Рисунок 4.5 – Объекты прямого подсчета клеток микроорганизмов в счетной камере Горяева: а) *Saccharomyces cerevisiae*; б) Малый квадрат счетной сетки в пределах 100х увеличения объектива; в) Большой квадрат счетной сетки в пределах 40х увеличения объектива

Динамика изменения числа клеток дрожжей в процессе брожения после внесения обогащающей композиции, содержащей цинк отображена на рисунке 4.6.

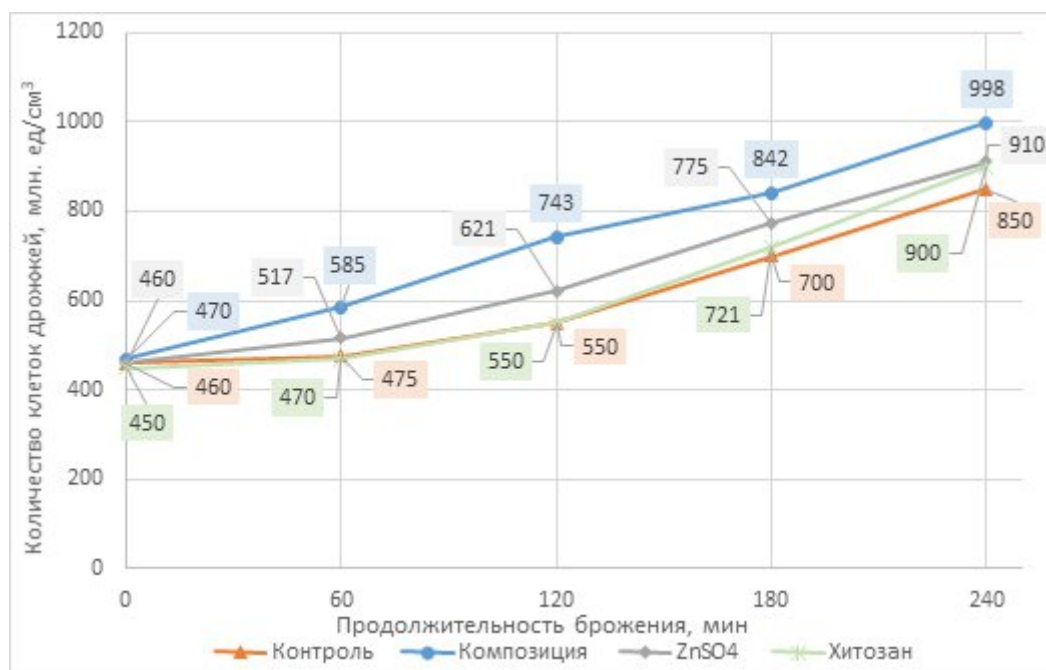


Рисунок 4.6 – Рост числа клеток дрожжей в процессе брожения теста

Полученные данные демонстрируют, что внесение обогащающей композиции положительно влияет на рост числа клеток дрожжей в процессе

брожения. Использование чистого сульфата цинка, в заданном количестве, в меньшей степени также способствует росту числа всех микроорганизмов [186, 203]. Для эффективного метаболизма хитозана и его производных клеткам необходимо присутствие хитинолитических ферментов. Известно, что дрожжам *Saccharomyces cerevisiae* свойственно наличие генов как минимум трех ферментов группы хитинсинтазы (CHS1, CHS2 и CHS3) и одного фермента хитиназы (CTS1). Данные соединения имеют ряд важных функций, в частности они задействованы в делении и агрегации клеток, но в тоже время способны принимать участие и в пищевых процессах [180]. Наряду с этим, в первые часы брожения, хитозан, не адсорбировавший цинк, способен оказывать подавляющее воздействие, что в свою очередь подтверждается литературными данными [207].

Динамика изменения числа клеток МКБ в процессе брожения после внесения обогащающей композиции, содержащей цинк отображена на рисунке 4.7.

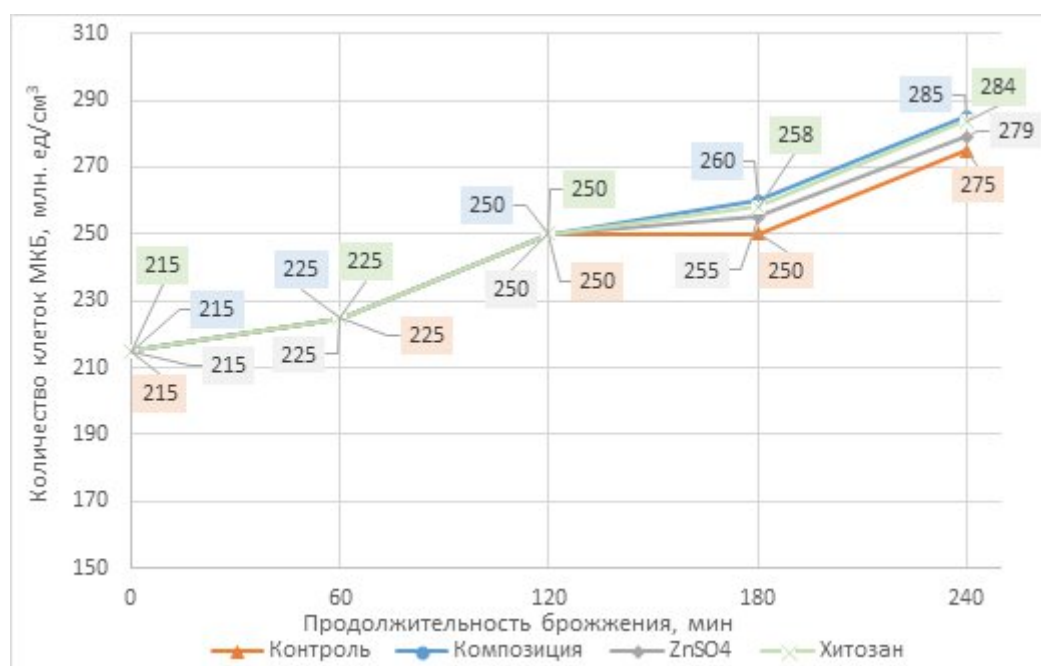


Рисунок 4.7 – Рост числа клеток МКБ в процессе брожения теста

Возможности *Saccharomyces cerevisiae* в эффективном усвоении хитозана возрастают благодаря присутствию в тесте молочнокислых бактерий, также потенциально способных к расщеплению хитозана. Однако, группы хитинолитических ферментов, как и осуществляемые ими функции в

существенной мере зависят от видового состава микроорганизмов. Так, существуют данные подтверждающие наличие в организме бактерий рода *Lactobacillus* генов, кодирующих хитиназы, в частности семейств GH18 и GH19, однако основная изученная функция перечисленных групп ферментов в данных организмах заключена в процессах связывания хитозанподобных белков, а не ферментативной или каталитической активности. Бактериям, в частности МКБ, свойственно продуцирование хитиназ с целью обеспечения себя азотом и углеродом, добываемым в процессе деградации хитина. Тем не менее, на усвоение хитозана существенное влияние оказывает видовой состав микроорганизмов, наличие конкретных метаболизирующих ферментов, а также соблюдение условий необходимых для их активации. Во многом, роль широкого ряда хитинолитических ферментов в жизнедеятельности как дрожжей, так и молочнокислых бактерий на данный момент изучена слабо [178].

Стимулирующее действие, оказываемое вносимой композицией на процессы газообразования, газодерживания и роста числа микроорганизмов в тесте необходимо учитывать в формировании технологического процесса изготовления хлеба.

4.2 Исследование влияния обогащающей композиции на физико-химические и органолептические свойства хлеба

Изменения, происходящие с тестом в процессе расстойки и брожения, в частности влияние внесенной обогащающей композиции на величину подъемной силы дрожжей, ГУС, ГОС и кислотность, существенно сказываются на итоговом качестве получаемого продукта.

С целью определения целесообразности применения обогащающей композиции из хитозана и цинка в технологии хлеба забайкальского исследованы следующие функционально технологические свойства готовых изделий: физико-химические и органолептические показатели хлеба, а также концентрация вносимого цинка. Помимо этого, произведен теоретический расчет пищевой и

биологической ценности, в том числе содержание ряда витаминов и элементов в готовом продукте.

Предложенный способ приготовления обогащенного цинком хлеба, включает в себя растворение соли поваренной пищевой и дрожжей хлебопекарных сухих быстродействующих в воде с $t=27\text{ }^{\circ}\text{C}$, внесение порционно муки пшеничной хлебопекарной цельнозерновой, муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и обогащающей пищевой композиции из хитозана и цинка, замеса теста, его дальнейшее брожение продолжительностью в 240 минут, расстойку заготовок продолжительностью в 60 минут и выпекание хлеба при $t=230\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 60 минут. В таблице 4.2 приведено описание сырья, используемого в опытной и контрольной рецептуре забайкальского хлеба. Структурная схема технологии производства хлеба забайкальского формового с внесением обогащающей пищевой композиции из хитозана и цинка приведена в приложении 5.

Таблица 4.2 – Рецептура хлеба забайкальского формового (контрольного и опытного образцов)

Наименование сырья	Влажность, %	Содержание сухих веществ, %	Расход сырья на 100 кг муки, кг			
			Контроль		Опыт	
			в натуре	в сухих веществах	в натуре	в сухих веществах
Мука пшеничная хлебопекарная цельнозерновая	10,8	89,2	50,0	44,6	50,0	44,6
Мука пшеничная хлебопекарная второго сорта	12,3	87,7	50,0	43,85	49,8	43,67
Обогащающая композиция из хитозана и цинка	5,0	95,0	-	-	0,2	0,19
Соль пищевая	0,5	96,5	1,5	1,45	1,5	1,45
Дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие	8,0	92,0	0,5	0,46	0,5	0,46
Вода	-	-	По расчету	-	По расчету	-
Итого сырья	-	-	102,0	90,36	102,0	90,37
Выход изделия	-	-	153,48		153,51	

Соблюдение нормативных параметров ГОСТ Р 58233-2018 гарантирует соответствие готового продукта установленным требованиям к качеству хлебобулочных изделий. Таким образом, неизменность базовой рецептуры служит важным условием для достоверной оценки функциональных свойств вводимой добавки и ее технологической совместимости с действующими производственными стандартами.

В ходе проведенных ранее исследований было принято решение о внесении обогащающей композиции на стадии замеса теста, обусловленное негативным воздействием используемых сырьевых компонентов на время активации дрожжей при непосредственном контакте, что подтверждается, в частности, имеющимися литературными данными. Таким образом, для минимизации угнетающего воздействия на активность дрожжей и обеспечения оптимальных условий для их функционирования, обогащающая композиция была интегрирована в процесс замеса теста вместе с мукой.

С целью повышения потребительских свойств и упрощения производственных процессов реализована замена муки пшеничной хлебопекарной обойной, представленной в базовой рецептуре [51], на муку пшеничную хлебопекарную цельнозерновую, не уступающую по-своему нутриентному составу. Дрожжи хлебопекарные прессованные заменяли дрожжами хлебопекарными сухими быстродействующими, позволяя упростить и ускорить процесс первичной подготовки теста.

В таблице 4.3 дана оценка соответствия ГОСТ Р 58233-2018 органолептических и физико-химических показателей готового изделия. Шкала бальной оценки органолептических показателей хлеба сформирована на основе методики описанной в [50], и приведена в приложении 6. Полученные результаты демонстрируют отсутствие влияния на органолептические показатели внесения обогащающей композиции, однако, в случае повышения количества обогащающей композиции в рецептуре, необходимо брать в учет особенности её составляющих, во избежание ощущения терпкого вяжущего вкуса в готовом изделии.

Таблица 4.3 – Влияние внесения композиции из хитозана и цинка на органолептические и физико-химические показатели хлеба забайкальского.

Показатель	ГОСТ Р 58233-2018	Контроль	Опыт
Органолептические показатели хлеба			
Форма	Соответствующий хлебной форме, в которой производилась выпечка, с несколько выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов	Соответствует прямоугольной хлебной форме, в которой производилась выпечка, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов	
Цвет	С в е т л о - к о р и ч н е в ы й , допускается белесоватость	Светло-коричневый	
Вкус	Свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего привкуса	
Запах	Свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего запаха	
Поверхность	Без крупных трещин и подрывов	Без крупных трещин и подрывов	Без крупных трещин и подрывов, со слегка увеличенным количеством пор
Промес	Без комочков и следов непромеса	Без комочков и следов непромеса	
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений	Развитая, без пустот и уплотнений	
Пропеченость	Пропеченый, не влажный на ощупь	Пропеченый, не влажный на ощупь	
Физико-химические показатели хлеба			
Влажность мякиша, %	не более 49,0	47,0	47,0
Кислотность мякиша, град.	не более 7,0	5,4	6,0
Пористость мякиша, %	не менее 60,0	63,0	64,0

Интенсификация процесса брожения, вызванная обогащающей композицией, при неизменном технологическом процессе производства изделия, приводит к закономерному, но незначительному повышению показателей кислотности и пористости мякиша, при неизменном значении влажности. Полученные результаты демонстрируют соответствие разработанной рецептуры

изделия стандарту ГОСТ Р 58233-2018 и соотносятся с имеющимися на данный момент литературными данными по применению хитозана или неорганических форм цинка в технологии хлеба. Также, в работах иных исследовательских групп отмечается влияние внесения хитозана, в различном соотношении, на прочие физико-химические процессы при выпечке и хранении хлеба, выделяя замедление процессов черствения и усиления цветности поверхности изделий [124, 155, 182].

Согласно имеющимся литературным данным, хитозан демонстрирует высокую устойчивость к термической обработке, что особенно важно для его применения в хлебопекарных технологиях. Несмотря на частичную дегидратацию и изменение цвета при температурах выше 100 °С, его ключевые функциональные свойства сохраняются благодаря способности образовывать стабильные комплексы с белками и ионами металлов. Термостабильность хитозана при температурах свыше 100 °С обеспечивается комплексом взаимодействий, к примеру, электростатические связи аминополисахарида с белковыми компонентами препятствуют денатурации при нагреве, способствуя образованию стабильных растворимых агрегатов, в то время как координация с катионами металлов способствует повышению устойчивости полимерной структуры к температурным воздействиям [220, 221, 223]. Помимо хлебопекарных технологий, практическая значимость термостабильности хитозана, в частности, подтверждается его успешным применением в качестве покрытий для продуктов, подвергаемых жарке во фритюре. Важно отметить, что степень деацетилирования хитозана не оказывает критического влияния на его термическую устойчивость, что существенно расширяет потенциал использования данного сырья [224].

Как установлено в ряде работ, направленных на изучение влияния хитозана на реологические характеристики хлебобулочных изделий, добавление данного аминополисахарида в концентрациях от 0,5 до 1 % от массы муки способствует существенному улучшению структурных свойств теста. Наблюдается увеличение модуля упругости при сохранении оптимального баланса между эластичными и вязкими характеристиками, что свидетельствует об улучшении качества теста. Этот эффект обусловлен способностью хитозана образовывать дополнительные

межмолекулярные связи с белковыми и углеводными компонентами теста, формируя более устойчивую трехмерную структуру. При этом концентрации ниже 0,5 % не оказывают значимого влияния на реологические показатели. В тоже время, важным технологическим свойством хитозана является его способность замедлять процессы черствения готовой продукции. Исследования подтверждают снижение скорости ретроградации крахмала и улучшение водоудерживающей способности мякиша. Это позволяет продлить срок сохранения свежести хлеба без существенного изменения его текстурных характеристик. Одновременно с этим, хитозан оказывает комплексное влияние на цветовые характеристики изделий. С одной стороны, существуют данные, свидетельствующие об увеличении светлоты корки при использовании малых концентраций аминополисахарида, параллельно умеренному потемнению мякиша готового изделия, что обусловлено участием аминогрупп хитозана в реакциях Майяра. Однако в применяемом соотношении хитозана и муки перечисленные изменения не наблюдаются [176, 217, 225].

Для оценки количества сохраненного вносимого компонента в готовом изделии с применением методов атомно-абсорбционного анализа (ААС) устанавливали содержание цинка в образцах контрольного и опытного хлеба. Регистрограмма сигнала содержания цинка в исследуемых образцах отображена в приложении 4.

В контрольном образце обнаружено содержание цинка в количестве 0,8 мг на 100 г, что достигается благодаря богатому элементному составу используемой муки и дрожжей. В то же время, обогащенное изделие содержит 3,39 мг на 100 г продукта, из которых 2,6 мг внесены благодаря обогащающей композиции, что составляет 76 % от общего содержания элемента в готовом изделии.

В таблице 4.4 сформирован, путем теоретического расчета и учета потерь нутриентов, состав 100 г готовых изделий с указанием содержания и соответствия суточной норме следующих показателей: белка, жиров, углеводов, витаминов В₁, В₂, РР, Е, К, а также К, Са, Mg, Р, Zn, Fe, Cu, Se, Mn. Остальные, относящиеся к биологически значимым, витамины и элементы не перечислены по причине

крайне низких значений данных компонентов в конечном продукте, либо в отсутствии фиксируемого распространенного дефицита среди населения или данных о содержании. В дополнении, проведена оценка пищевой и биологической ценности изделий. Суточная физиологическая потребность учтена с расчетом на взрослого человека в соответствии с Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21 "Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации" (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 22 июля 2021 г.) [63, 142, 165, 169, 174, 191, 193, 212, 219]. Внешний вид изделий отображен на рисунке 4.8.

Таблица 4.4 – Состав, пищевая и биологическая ценность готовых изделий

Наименование показателя	Суточная потребность организма человека [63]	Контроль		Опыт	
		Химический состав	Удовлетворение суточной потребности, %	Химический состав	Удовлетворение суточной потребности, %
Белки, г/100г ¹	90	8,0	8,8	8,0	8,8
Жир, г/100г ¹	90	1,0	1,1	1,0	1,1
Углеводы, г/100г ¹	430	40,0	9,3	40,0	9,3
Витамины					
В ₁ (тиамин), мг ¹	1,5	0,1	7,3	0,1	7,3
В ₂ (рибофлавин), мг ¹	1,8	0,08	4,4	0,08	4,4
РР (ниацин), мг ¹	20	4,3	21,5	4,3	21,5
Е (токоферолы), мг ³	15	0,1	0,6	0,1	0,6
К (филлохинон), мкг ³	120	1,5	1,3	1,5	1,3

Наименование показателя	Суточная потребность организма человека ^[63]	Контроль		Опыт	
		Химический состав	Удовлетворение суточной потребности, %	Химический состав	Удовлетворение суточной потребности, %
Биологически значимые элементы					
Калий, мг ¹	2500	117,8	4,71	117,8	4,71
Кальций, мг ¹	1000	19,5	1,95	19,5	1,95
Фосфор, мг ¹	700	117,3	16,75	117,3	16,75
Магний, мг ¹	400	34,7	8,68	34,7	8,68
Железо, мг ¹	14	1,2	8,6	1,2	8,6
Цинк, мг ⁴	12	0,8	6,7	3,4	28,3
Марганец, мг ²	2	1,0	50,0	1,0	50,0
Медь, мг ²	1	0,3	30,0	0,3	30,0
Селен, мкг ²	62	25,1	40,5	25,1	40,5
Энергетическая ценность, кДж	10885	853	7,8	853	7,8
Биологическая ценность		51,15		51,15	

¹ [130]; ² [129]; ³ [206]; ⁴ согласно данным ААС;

Сформированный расчётный состав хлеба забайкальского демонстрирует достоинства в высоком содержании витаминов и эссенциальных элементов в изделии из смеси муки пшеничной цельнозерновой и муки пшеничной второго сорта. Использование в процессе помола муки цельного зерна, без отделения оболочки и зародыша, позволяет сохранить большее количество ценных биологически значимых компонентов. В свою очередь, внесение обогащающей композиции из хитозана и цинка, позволяет повысить содержание эссенциального цинка в готовом изделии до 3,39 мг на 100 г, не оказывая влияния на общее соотношение Б:Ж:У и прочих нутриентов в продукте. В тоже время, важен контроль содержания наиболее антагонистичных цинку элементов, к которым можно отнести железо и медь.

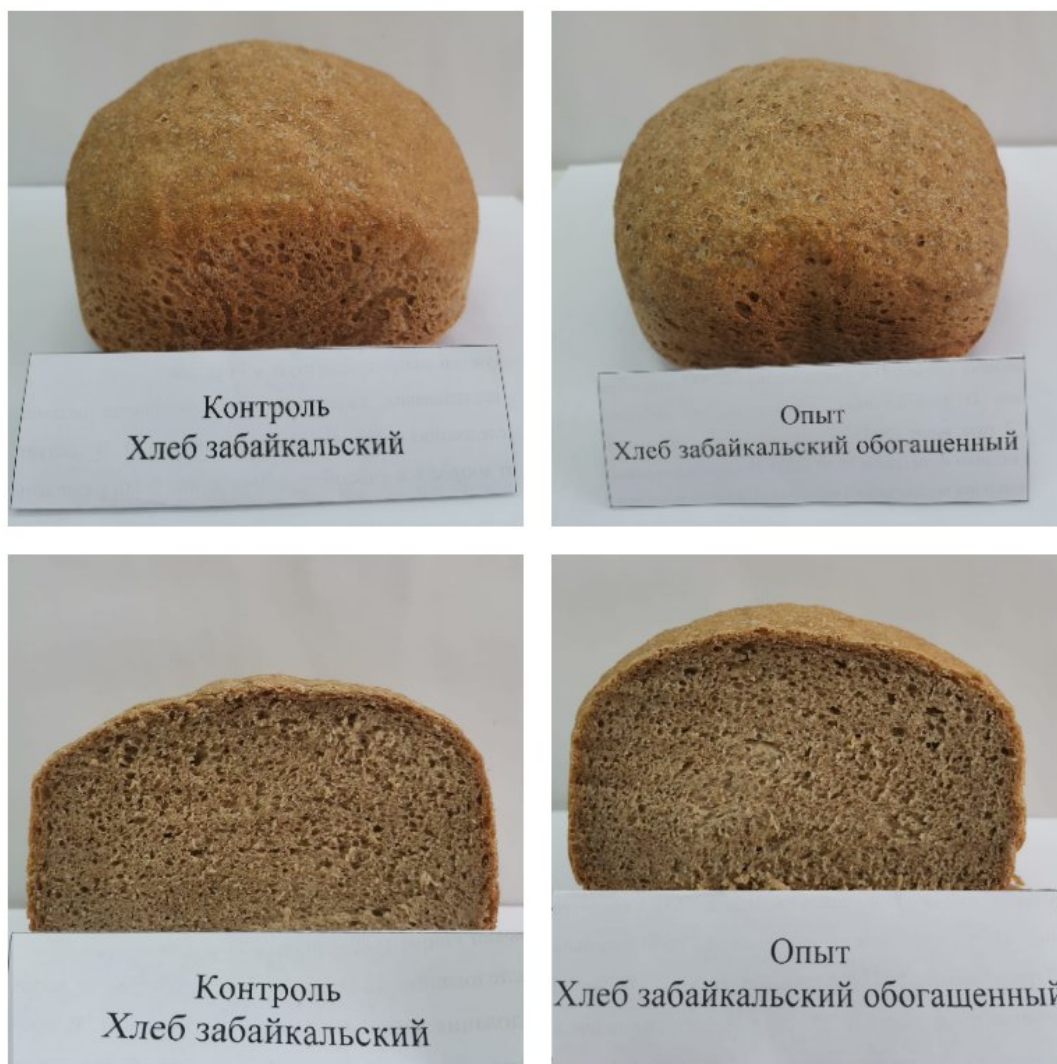


Рисунок 4.8 – Внешний вид контрольного и опытного образца.

Разработанная обогащающая композиция справляется с поставленной задачей по увеличению содержания эссенциального цинка в продукте, попутно оказывая влияние на интенсификацию брожения теста и пористость готовых изделий. Однако, необходима оценка влияния вносимой композиции на сроки хранения готовых изделий, как и на усвояемость обогащающего сырья, а также значение их общей токсичности и безопасности.

4.3 Маркировка готовых изделий и рекомендации по их применению

В соответствии с ГОСТ Р 51074-2003, в перечне ингредиентов готовой продукции обязательна, помимо прочего, информация о применении при

изготовлении и о содержании в использованном сырье пищевых добавок, биологически активных добавок к пище, ароматизаторов, пищевых продуктов нетрадиционного состава с включением не свойственных им компонентов белковой природы, облученных ионизирующим излучением. Кроме того, согласно 3 разделу данного стандарта «Любая информация о специальных питательных свойствах, лечебном, диетическом или профилактическом назначении продукта, наличии в нем биологически активных веществ, отсутствии вредных веществ или о других аналогичных характеристиках может быть нанесена на этикетку только при наличии у изготовителя подтверждения указанной информации. Содержание биологически активных веществ, витаминов и минеральных веществ указывают в случаях, если они вносились при изготовлении продуктов.»

Хлеб забайкальский формовой обогащенный композицией из хитозана и цинка соответствует категории обогащенных пищевых продуктов по ГОСТ Р 52349-2005 раздел 2 «Термины и определения», представляя собой изделие, получаемое добавлением к традиционному пищевому продукту ингредиента несущего функциональную направленность в количестве, обеспечивающем предотвращение или восполнение имеющегося в организме человека дефицита питательных веществ. Разработанная обогащающая композиция из иммобилизованного на хитозане цинка представляет собой физиологический функциональный пищевой ингредиент, обладающий способностью оказывать благоприятный эффект на ряд физиологических функций в организме человека при систематическом употреблении в количествах от 10 до 50 % от суточной нормы. В тоже время, эффективность функционального пищевого продукта, подлежащая научному обоснованию и характеризующаяся совокупностью характеристик продукта, обеспечивающих снижение риска развития заболеваний, предотвращение дефицита, сохранение и улучшение здоровья, должна быть отображена в заявлении об эффективности функционального пищевого продукта путем нанесения маркировки на потребительской таре, содержащей информацию о подтвержденных свойствах обогащающего компонента.

Присутствие в составе обогащающей композиции перечисленных сырьевых источников, в частности хитозана пищевого и эссенциального цинка в форме сульфата подтверждается исследованиями, описанными ранее в разделах 3.2 и 4.3. В соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 наличие в составе готового продукта дополнительного источника цинка позволяет маркировать изделие как «Источник эссенциального цинка». Согласно перечню разрешенных к использованию видов «Информации», в отношении содержащихся в функциональных пищевых продуктах функциональных пищевых ингредиентов, обоснованных с точки зрения доказательной медицины цинк, выступающий в качестве обогащающего компонента, способствует нормализации кислотно-щелочного баланса организма. В тоже время, на основании ГОСТ Р 54059-2010 наличие источника цинка позволяет присвоить разработанной обогащающей пищевой композиции следующее кодированное обозначение: (А-II-2-В),

Где **А** — обозначение класса «Эффект метаболизма субстратов»:

II — обозначение группы «Метаболизм углеводов» класса А;

2 — обозначение подгруппы «Поддержание уровня инсулина в крови»;

В — обозначение класса «Антиоксидантный эффект»: в группе «Функции сердечно-сосудистой системы», подгруппы «Антиоксидантная защита липидов клеточных мембран и липопротеидов».

Помимо перечисленного наличие источника цинка соответствует группе «Устойчивость организма к онкологическим патологиям», класса А, подгруппе «Предстательная железа».

Исходя из описанной ранее информации на этикетке готового продукта в разделе «Состав» уместно указание следующего наименования – «Обогащающая пищевая композиция из иммобилизованного на хитозане цинка (хитозан пищевой, цинк сернокислый 7-водный)». Изделие, произведенное с применением данного функционального пищевого ингредиента, рекомендовано к употреблению лицами, достигшими возраста 15 лет в регионах с выявленным распространённым дефицитом эссенциального цинка среди населения. В целях профилактики дефицита цинка допустимо потребление обогащенного хлеба забайкальского

продолжительностью не более 30 дней, порцией массой не более 270 г/сут с последующим контролем содержания цинка в организме в лабораторных условиях.

Допустима рекомендация к употреблению разработанных обогащенных изделий на территориях, расположенных вблизи промышленных предприятий, сконцентрированных на добыче и переработке элементов антагонистов цинка: железа, меди, ртути, кадмия, кобальта.

Ввиду наличия в составе композиции хитозана добываемого путем обработки панцирей морских ракообразных целесообразно нанесение следующей дополнительной маркировки на этикетке продукта: Противопоказания: «Индивидуальная непереносимость применяемого сырья, в частности, продуктов переработки морского происхождения». Аналогично, с учетом особенностей норм физиологических потребностей в эссенциальном цинке различных возрастных групп населения разумно указание следующей информации: «Не рекомендовано к употреблению в период беременности и кормления, а также лицам, не достигшим 15 лет». С опорой на требования ГОСТ Р 51074-2003 в описании разработанной обогащающей пищевой композиции обязательно также приведение следующей информации: «Не является лекарством».

4.4 Оценка хранимостпособности готовых изделий

Интенсификация брожения, как и изменение элементного состава изделия при внесении обогащающей композиции в состоянии оказать влияние на рост числа патогенных микроорганизмов, что способно привести к снижению срока хранения готовых изделий. В свою очередь, вероятно, использование в качестве носителя микроэлементов хитозана, способного оказывать антибактериальное воздействие, позволяет снизить данный негативный эффект. Для оценки влияния вносимой композиции на хранимостпособность готовых изделий произведено сравнение контрольного и опытного образца хлеба в процессе хранения с интервалом в 24 часа по следующим показателям: количеству мезофильных

аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов, бактерий группы кишечных палочек, а также плесени и дрожжей [123, 125]. Полученные данные отображены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Влияние вносимой обогащающей композиции на микробиологические показатели хлеба в процессе хранения

Наименование показателей, единицы измерения	Значение показателей			
	Срок хранения, ч	Контроль	Опыт	Допустимые уровни (согласно ТР ТС 021/2011)
КМАФАнМ, КОЕ/г	24	$1,0 \times 10^1$	$4,0 \times 10^1$	не более $1,0 \times 10^3$
	48	$1,8 \times 10^1$	$1,3 \times 10^2$	
	72	$4,0 \times 10^2$	$8,9 \times 10^2$	
БГКП (колиформы),	24	не обнаружены	не обнаружены	не допускаются в 1,0 (г) продукта
	48			
	72			
Плесени, КОЕ/г	24	менее $1,0 \times 10^1$	менее $1,0 \times 10^1$	не более 50
	48			
	72			
Дрожжи, КОЕ/г	24	менее $1,0 \times 10^1$	менее $1,0 \times 10^1$	не более 100
	48			
	72			

Допустимые уровни указаны с опорой на оптимальные значения, перечисленные в разделе «1.3. Мукомольно-крупяные и хлебобулочные изделия» Технического регламента Таможенного союза «ТР ТС 021/2011».

Количество бактерий группы кишечной палочки, плесени и дрожжей на протяжении всего срока хранения в обоих исследуемых образцах не выходило за границы нормы, в то время как значение показателя количества мезофильных

аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов в обогащенном изделии, оставаясь в допустимых пределах, превышает аналогичные показатели контрольного образца. Данные изменения могут быть обусловлены интенсификацией процессов жизнедеятельности, обсеменяющих поверхность продукта микроорганизмов, преимущественно бактерий, вызванной повышенным содержанием в готовом изделии хитозана и цинка, которые, в свою очередь, способны оказать влияние на максимальный срок хранения. Вне зависимости от этого, разработанная рецептура функционального хлеба, обогащенного эссенциальным цинком соответствует нормам, установленным ГОСТ 31752-2012 и не предусматривает реализацию производимого продукта, упакованного в потребительскую упаковку по достижении 3 суток и не упакованного в потребительскую упаковку по достижении 24 часов хранения.

4.5 Оценка функциональной эффективности и биологической безопасности обогащенного хлеба

Введение в рецептуру разработанной обогащающей композиции, как в целом использование нетрадиционных сырьевых источников, требует изучения биодоступности применяемых компонентов и их влияния на организм потребителя. Изучение усвояемости иммобилизованного на хитозане цинка важно, ввиду особенностей применяемого аминополисахарида, проявляющего свойства неселективного энтеросорбента, потенциально способного повлиять на всасываемость как вносимого элемента, так и иных компонентов в желудочно-кишечном тракте. В ходе изучения влияния композиции на морфофункциональное состояние модельных организмов возможен анализ способности полимерной матрицы сорбента высвобождать цинк в усвояемой форме, не влияя на доступность прочих нутриентов. Параллельно необходима оценка безопасности сформированного комплекса, ввиду частичного протекания реакции даже в случае преимущественно физических методов закрепления

элемента, что важно с целью анализа токсичности новых формируемых соединений и их воздействия на физиологическое состояние организма.

Первым этапом по оценке биологической безопасности готовой обогащенной продукции выступает определение значения общей токсичности сырья на основании данных о выживаемости модельных организмов. Определение общей токсичности обогащающей композиции из иммобилизованного на поверхности хитозана цинка в количестве $25,9 \pm 0,3$ мг осуществляли методом биотестирования кормов на стилонихиях (*Stylonychia mytilus*) в соответствии с ГОСТ 31674-2012 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности». Данные по количеству выживших инфузорий в водном растворе ацетонового экстракта и растворе водного экстракта отображены на рисунке 4.9.

В растворе водного экстракта выживаемость *Stylonychia mytilus* составила 86,76 % для образцов из муки пшеничной высшего сорта с внесением обогащающей композиции, в то время как в образце с необогащенной мукой пшеничной высшего сорта выживаемость составила 80,82 %. В водном растворе ацетонового экстракта выживаемость *Stylonychia mytilus* составила 85,71 % для образцов из муки пшеничной высшего сорта с внесением обогащающей композиции, в то время как в образце с необогащенной мукой пшеничной высшего сорта выживаемость составила 80,00 %. Инфузории проявляли высокую активность, оба образца классифицируются как нетоксичные. Для образцов из муки пшеничной цельнозерновой с внесением обогащающей композиции в растворе водного экстракта выживаемость *Stylonychia mytilus* составила 80,52 %, в то время как в образце с необогащенной мукой пшеничной цельнозерновой выживаемость составила 73,44 %.

В водном растворе ацетонового экстракта выживаемость *Stylonychia mytilus* составила 80,28 % для образцов из муки пшеничной цельнозерновой с внесением обогащающей композиции, и 74,24 % в образце с необогащенной мукой пшеничной цельнозерновой. Инфузории в растворе с мукой пшеничной цельнозерновой обогащенной проявляли высокую активность, образец

классифицируется как нетоксичный. В растворе с необогащенной мукой пшеничной цельнозерновой инфузии проявляли умеренную активность, образец классифицируется как слаботоксичный.



а)



б)

Рисунок 4.9 – Влияние внесения обогащающей композиции на количество *Stylonychia mytilus* в растворах: а) раствор водного экстракта; б) водный раствор ацетонового экстракта

Выживаемость *Stylonychia mytilus* в процентном соотношении в заданных условиях отображена на рисунке 4.10.



Рисунок 4.10 – Значение выживаемости *Stylonychia mytilus* в исследуемых образцах муки

Повторный подсчет численности организмов не выявил изменений формы и характера движений стилонихий. Зафиксированные значения выживаемости инфузорий в образцах муки пшеничной цельнозерновой могут быть обусловлены особенностями почвы в месте произрастания пшеницы, а также процессом производства, в результате которого сохраняются поверхностные оболочки и зародыш зерна. Полученные данные демонстрируют повышение процента выживаемости инфузорий при внесении обогащающей композиции из хитозана и цинка.

С целью оценки усвояемости и безопасности, разработанной обогащающей пищевой композиции, далее, исследовано влияние цинка, иммобилизованного на поверхности хитозана, на морфофункциональное состояние организма крыс – самцов линии Wistar. Для решения поставленной цели не исключали базовое потребление цинка контрольной группой с внесением в рацион исследуемой группы 0,075 мг Zn в день, с расчетом на одну особь, что составляет суточную норму потребления элемента для крыс.

Приведенные ниже данные представлены в виде среднее арифметическое значения \pm ошибка среднего арифметического. Для оценки достоверности результатов был применен критерий Стьюдента.

В таблице 4.6 отображены результаты морфометрической оценки результатов толщины эпителиального слоя желудка и длины ворсин слизистой оболочки кишечника крыс. Отмечено, что в опытной группе значение толщины эпителиального слоя желудка и длины ворсин кишечника достоверно выше на 9,9 % и 8,2 % соответственно, относительно группы контроля.

Таблица 4.6 – Результаты морфометрического исследования желудка и кишечника крыс

Исследуемая группа	Толщина эпителиального слоя желудка, мкм	Длина ворсин кишечника, мкм
Контрольная	684,5±29,4	573,4±14,9
Опытная	752,5±21,6*	620,6±15,7*

* статистически значимые различия при $p < 0,01$ относительно контрольной группы.

В результате морфометрической оценки морфологических структур семенников у исследуемых животных было отмечено, что в опытной группе толщина эпителиосперматогенного слоя больше на 8,4 %, площадь канальцев - на 9,5 % относительно контрольной группы. При этом площадь сперматогенного эпителия на 8,6 % ($p < 0,01$) больше в группе, служившей контролем.

Таблица 4.7 – Результаты морфометрического исследования семенников исследуемых животных

Исследуемая группа	Толщина эпителиосперматогенного слоя, мкм	Площадь канальца, мкм ²	Площадь сперматогенного эпителия, мкм ²
Контрольная	93,4±2,54	105831,8±3881	87819,6±6730,8
Опытная	101,3±2,77**	115915,1±9607	80836,4±3990,5*

* статистически значимые различия при $p < 0,01$ относительно контрольной группы;

** при $p < 0,001$ относительно контрольной группы.

По результатам подсчета клеток в семенниках у подопытных животных было отмечено, что количество клеток сперматогенного эпителия в полях зрения микроскопа при увеличении 400X достоверно выше в опытной группе на 13,8 % ($p < 0,001$), сперматогониев - на 19,9 % ($p < 0,01$), Сертоли - на 23,1 % ($p < 0,01$).

Таблица 4.8 – Результаты подсчета клеток в семенниках крыс

Исследуемая группа	Клеток сперматогенного эпителия в пз 400х	Клеток сперматогониев эпителия в пз 400х	Клеток Сертоли в пз 400х
Контрольная	88,8±2,4	24,6±1,3	10,8±0,6
Опытная	101,1±3,7**	29,5±2,4*	13,3±1,1*

* статистически значимые различия при $p < 0,01$ относительно контрольной группы;

** при $p < 0,001$ относительно контрольной группы.

В ходе оценки содержания исследуемого элемента в печени и семенниках крыс обнаружено, что аккумуляция цинка в пробах печени опытной группы крыс достоверно выше на 35,0 % по сравнению с контролем. Также показатели цинка в пробах семенников в опытной группе оказались выше на 24,2 % по сравнению с контролем.

В таблице 4.9 отображены результаты аккумуляции цинка в тканях испытуемых крыс.

Таблица 4.9 – Аккумуляция цинка в тканях печени и семенников крыс

Образец	Цинк, мг/кг	
	Контрольная группа	Опытная группа
Печень	46,4±1,83	62,6±1,91**
Семенники	4,19±0,17	5,2±0,20*

* статистически значимые различия при $p < 0,01$ относительно контрольной группы;

** при $p < 0,001$ относительно контрольной группы.

Результаты исследования морфологических показателей крови отмечены в таблице 4.11. Стоит отметить достоверные различий в MCH на 4,8 %, MCVC — на 4,5 %, RDV-SD — на 7,0 % в пользу контрольной группы относительно опытной. При этом количество тромбоцитов и скорость оседания эритроцитов на 18,3 % и 5,4 % выше в опытной группе относительно контроля.

Таблица 4.10 – Морфологические показатели крови исследуемых животных

Показатель	Контроль	Опыт
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$	$2,89 \pm 0,404$	$2,17 \pm 0,315$
Эритроциты, $10^{12}/\text{л}$	$6,39 \pm 0,141$	$6,34 \pm 0,217$
Гемоглобин, г/л	$119,3 \pm 3,45$	$113,0 \pm 3,71$
МНС, г/л (средняя концентрация гемоглобина в эритроцитах)	$335,5 \pm 4,85$	$335,2 \pm 4,85$
МСН, пг (среднее содержание гемоглобина в эритроцитах)	$18,7 \pm 0,265$	$17,8 \pm 0,310^*$
MCVC, fL (средний объём эритроцита)	$55,7 \pm 0,92$	$53,2 \pm 0,52^*$
RDW-CV, % (ширина распределения эритроцитов по объёму)	$13,0 \pm 0,260$	$12,7 \pm 0,06$
RDV-SD, fL (ширина распределения эритроцитов по объёму)	$34,1 \pm 0,71$	$31,7 \pm 0,34^{**}$
Гематокрит, %	$35,5 \pm 0,43$	$33,7 \pm 1,14$
Тромбоциты, $10^9/\text{л}$	$461,0 \pm 40,4$	$545,5 \pm 18,0^*$
MPV, fL (средний объём тромбоцитов)	$6,32 \pm 0,095$	$6,25 \pm 0,11$
PDW, % (ширина распределения эритроцитов по объёму)	$11,9 \pm 0,62$	$11,9 \pm 1,17$
PCT (тромбокрит), %	$0,29 \pm 0,025$	$0,34 \pm 0,100$
СОЭ, мм/час	$2,00 \pm 1,200$	$3,50 \pm 0,645^*$
Цветной показатель (ЦП):	$0,56 \pm 0,009$	$0,53 \pm 0,009$

* статистически значимые различия при $p < 0,05$ относительно контрольной группы;

** при $p < 0,01$ относительно контрольной группы.

В таблице 4.11 отображена оценка ряда групп лейкоцитов у крыс.

Таблица 4.11 – Лейкоцитарная формула исследуемых животных

Показатель	Контроль	Опыт
Базофилы, %	-	$0,17 \pm 0,170$
Эозинофилы, %	$1,33 \pm 0,494$	$2,33 \pm 0,615$
Юные, %	-	-
Палочкоядерные, %	$1,33 \pm 0,210$	$1,83 \pm 0,307$
Сегментоядерные, %	$32,2 \pm 3,12$	$28,7 \pm 2,03$
Лимфоциты, %	$57,7 \pm 3,01$	$60,8 \pm 1,96$
Моноциты, %	$7,50 \pm 1,180$	$6,17 \pm 0,950$

При оценке процентного соотношения разных групп лейкоцитов стоит отметить повышение количества эозинофилов и палочкоядерных нейтрофилов в опытной группе на 75,2 % и 37,6 % относительно группы контроля. При этом количество сегментоядерных нейтрофилов и моноцитов на 10,9 % и 17,7 % больше в контрольной группе.

При оценке результатов биохимического исследования крови (табл. 4.12) было отмечено снижение в опытной группе концентрации глюкозы на 53,6 % и повышения цинка на 13,0 % соответственно. В тоже время активность щелочной фосфатазы и количество фосфора выше на 31,8 % и 56,9 % в контрольной группе. Так же стоит отметить недостоверное повышение общего билирубина в контрольной группе и мочевины, активности ГГТ и количества триглицеридов в опытной группе.

Таблица 4.12 – Биохимические показатели крови исследуемых животных

Показатель	Контроль	Опыт
Общий белок, г/л	59,7±2,30	62,2±1,64
Альбумины, г/л	23,9±1,30	25,2±2,09
Глобулины, г/л	35,8±1,94	37,1±1,74
Альбумины/глобулины	0,68±0,051	0,70±0,081
Билирубин общий, мМ/л	12,5±1,88	10,2±1,51
АлАТ, ЕД/л	44,6±5,72	44,2±5,76
АсАТ, ЕД/л	178,8±7,14	165,2±24,3
Мочевина, мМ/л	4,56±0,150	5,63±0,720
Креатинин, мМ/л	88,7±5,78	85,3±0,95
Гаммаглутамилтрансфераза (ГГТ), ЕД/л	2,04±0,82	3,40±1,16
Щелочная фосфатаза, ЕД/л	313,5±20,8	213,7±24,9**
Лактатдегидрогеназа (ЛДГ), ЕД/л	19,4±1,78	19,4±2,73*
Глюкоза, мМ/л	8,85±1,288	5,76±0,650*
Фосфор, мМ/л	1,60±0,170	0,69±0,162* *
Холестерин, мМ/л	1,51±0,140	1,49±0,204
Триглицериды, мМ/л	0,22±0,064	0,26±0,071
Магний	0,82±0,003	0,82±0,006

Показатель	Контроль	Опыт
Медь	24,6±1,31	24,9±2,28
Цинк	20,0±0,70	22,6±0,97*

* статистически значимые различия при $p < 0,05$ относительно контрольной группы;

** при $p < 0,01$ относительно контрольной группы.

При анализе электролитного состава крови (табл. 4.13) отмечено достоверное повышение количества анионов хлора в контрольной группе на 3,7 % относительно опытной группы.

Таблица 4.13 – Электролитный состав крови исследуемых животных

Показатель	Контроль	Опыт
Калий (K^+), мМ/л	5,73±0,318	5,14±0,188
Натрий (Na^+), мМ/л	143,2±0,99	140,6±2,96
Хлор (Cl^-), мМ/л	107,3±0,63	103,3±1,24*
Ионизирующий кальций (iCa^{2+}), мМ/л	1,43±0,010	1,43±0,016
Общий кальций (ТСа), мМ/л	2,78±0,019	2,79±0,031
Кислотность (рН)	7,42±0,012	7,44±0,016

* статистически значимые различия при $p < 0,05$ относительно контрольной группы.

Гистологическое строение селезенки, почек, печени, желудка, семенников и кишечника исследуемых животных отображено на рисунках 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15 и 4.16 соответственно.

Выбор перечисленных органов для гистологического анализа обусловлен их физиологической значимостью. Так, печень и почки являются основными органами, ответственными за депонирование и выведение цинка, состояние селезенки отражает реакцию иммунной системы на изменение рациона, желудок и кишечник демонстрируют локальное воздействие композиции на слизистые оболочки, а семенники служат индикатором потенциального влияния биоусвояемой формы цинка на репродуктивную функцию организма. К тому же, контроль содержания цинка в печени и семенниках, наряду с изучением его уровня в крови, позволяет комплексно оценить биодоступность вносимого элемента.

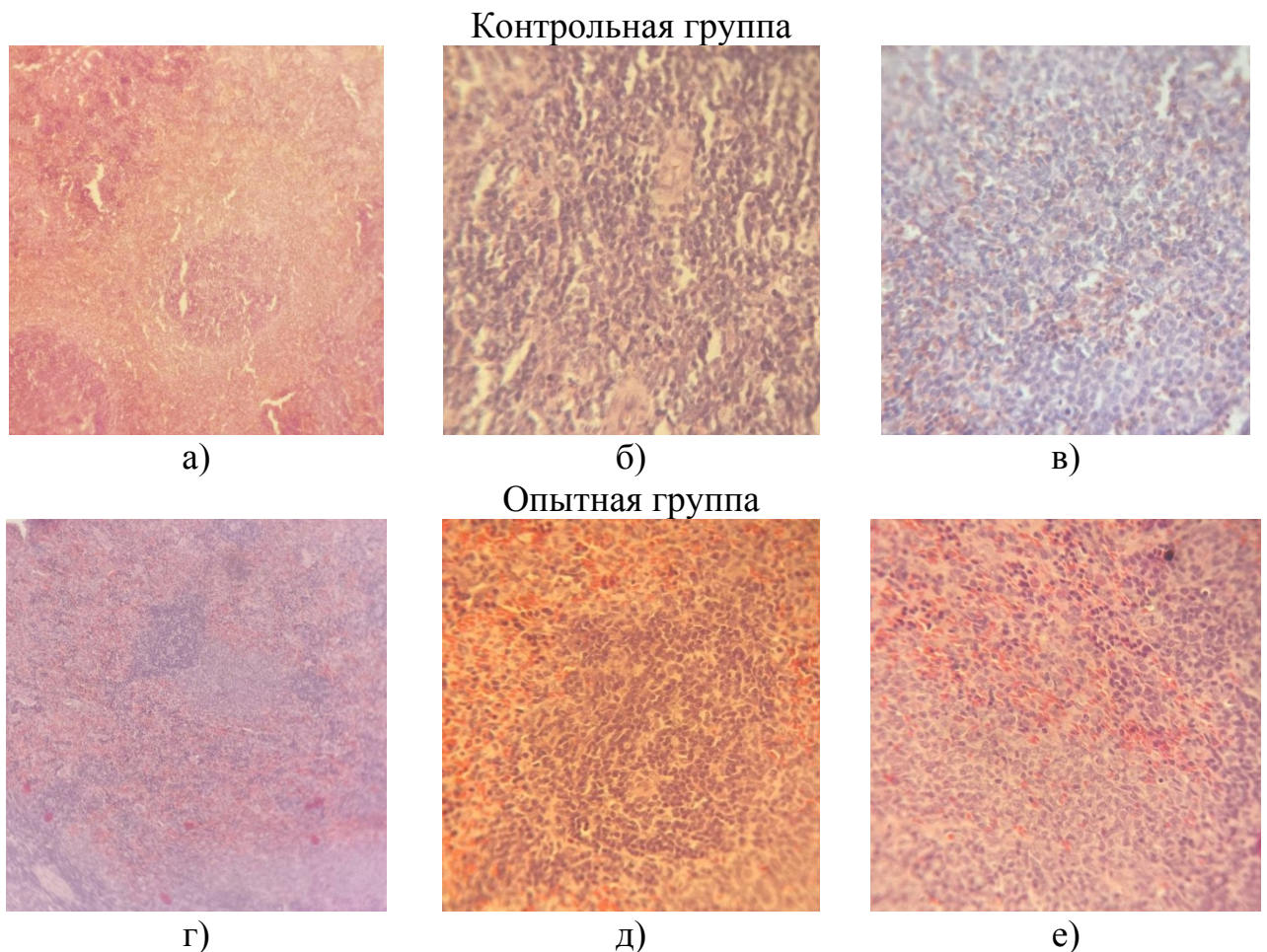


Рисунок 4.11 – Гистологическое строение селезенки крыс: а) ув. 100х; б) и в) ув. 400х; г) ув. 100х; д) и е) ув. 400х.

У всех исследуемых животных орган имеет типичное гистологическое строение. В случае контрольной группы красная пульпа представлена эритроцитами, мононуклеарными лейкоцитами и макрофагами, которые фагоцитируют эритроциты. Белая пульпа занимает достаточную площадь, представлена вторичными фолликулами с герминативными центрами, четко отделена от красной пульпы. Трабекулярный аппарат соответствует видовым особенностям, развит нормально. В случае опытной группы белая пульпа визуально занимает более трети площади органа, представлена вторичными фолликулами с герминативными центрами. В красной пульпе визуализируются эритроциты, лимфоциты и макрофаги.

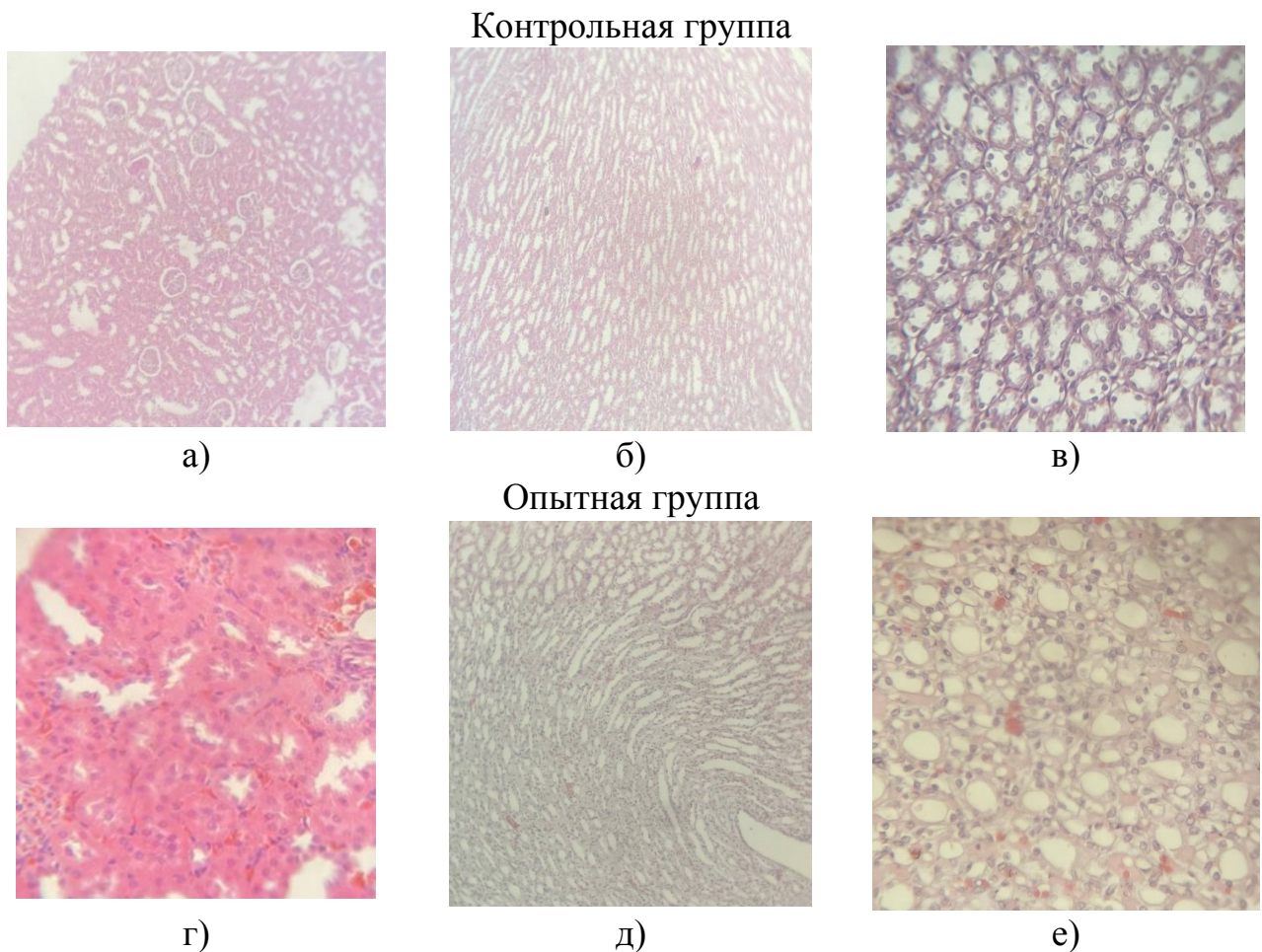


Рисунок 4.12 – Гистологическое строение почек крыс: а) и г) вид на корковый слой, ув. 100х; б) и д) мозговой слой, ув. 100х; в) и е) мозговой слой, ув. 400х

Почки всех испытуемых особей соответствуют гистологическому строению данного вида. В случае с контрольной группой сосуды умеренно кровенаполнены, капсула не представлена. В корковом веществе – сосудистые клубочки и почечные канальца. Канальца имеют свободный просвет, сохранную эпителиальную выстилку. Клетки эпителия канальцев с центрально-расположенным ядром и равномерно окрашенной цитоплазмой. Сосудистая сеть клубочков умеренно кровенаполнена, клубочки обычного вида, капсула Шумлянского сохранна. В случае с опытной группой клубочки обыкновенного вида, капиллярная сеть умеренно кровенаполнена, капсула Шумлянского сохранного вида, в части клубочков просвет капсулы сужен. Канальца типичного вида, просвет частично сужен, эпителий канальцев обычного строения: клетки

эпителия с центрально расположенным ядром и равномерно окрашенной цитоплазмой.

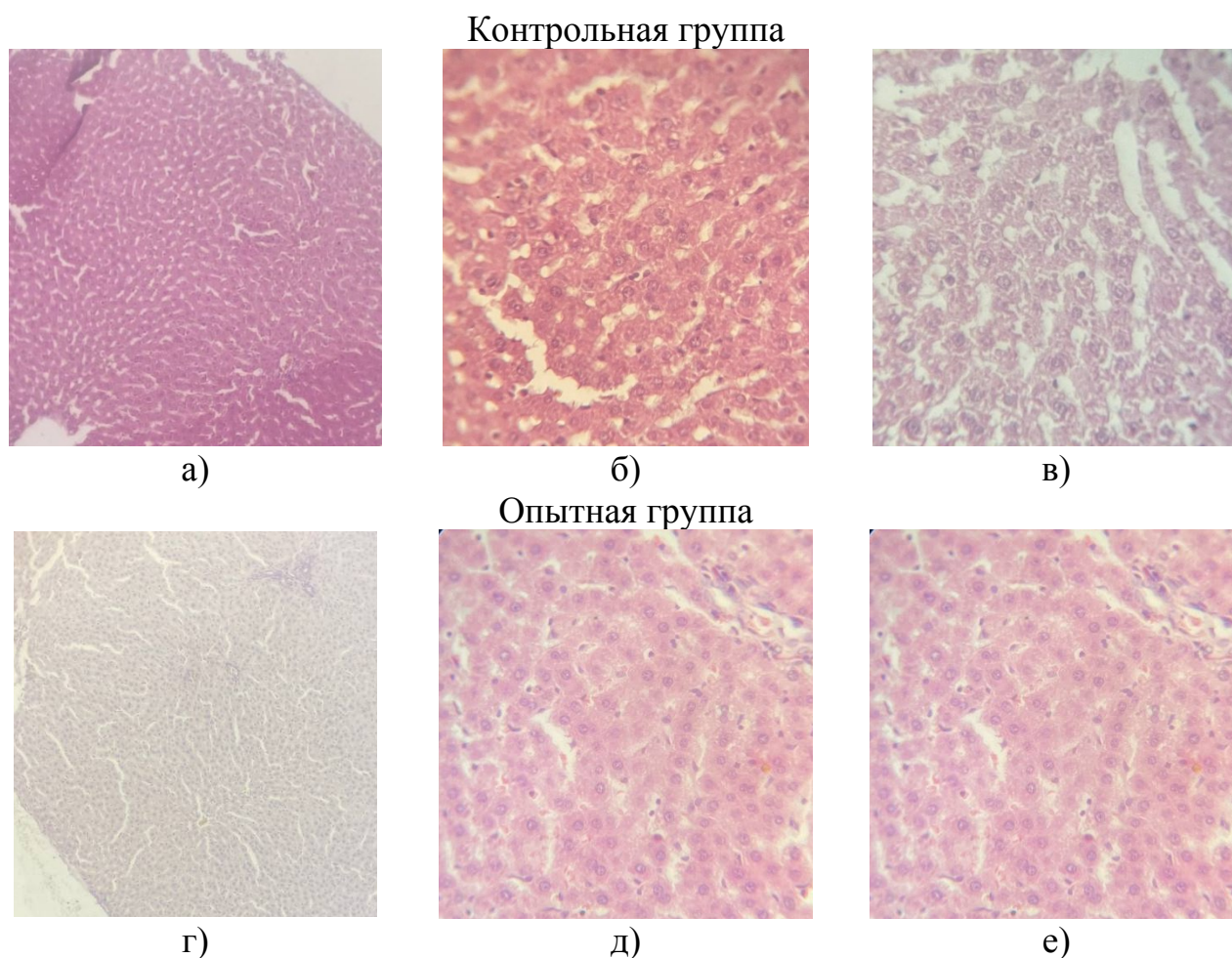
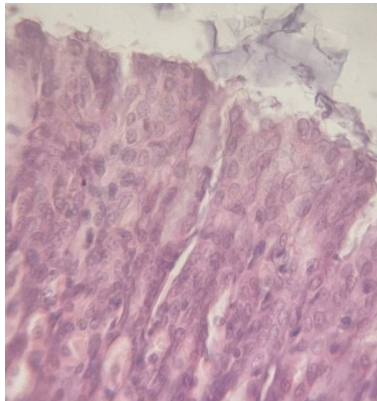


Рисунок 4.13 – Гистологическое строение печени крыс: а) и г) ув. 100х; б), в), д) и е) ув. 400х

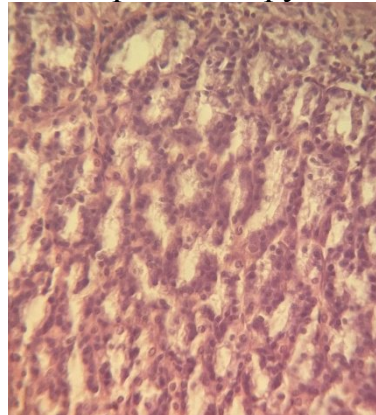
В случае контрольной группы архитектоника печеночных сосудов частично сохранена. В части полей зрения отмечается нарушение балочного строения. Капилляры в части полей зрения расширены, в просвете единичных капилляров – мононуклеарные лейкоциты. Гепатоциты полигональной формы с центрально расположенным ядром. Цитоплазма клеток окрашена неравномерно, у визуализируется зернистость и светлые участки. В данном случае можно судить о наличии зернистой и частичной – гидропической дистрофии. Данная патология в умеренной форме является обратимой, при балансировке питания и может не отражаться на жизни животного. У всех животных опытной группы печень имеет типичное гистологическое строение. Сосуды всех калибров умеренно

кровенаяполнены, гепатоциты полигональной формы, цитоплазма окрашена равномерно, ядро расположено по центру, встречаются двухъядерные формы.

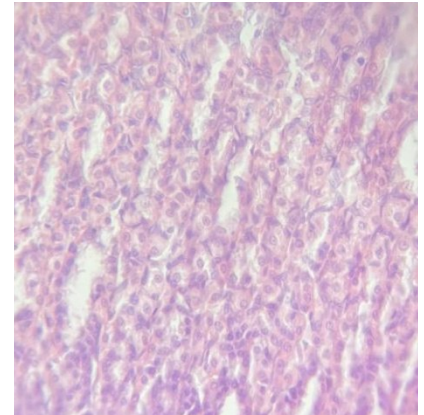
Контрольная группа



а)

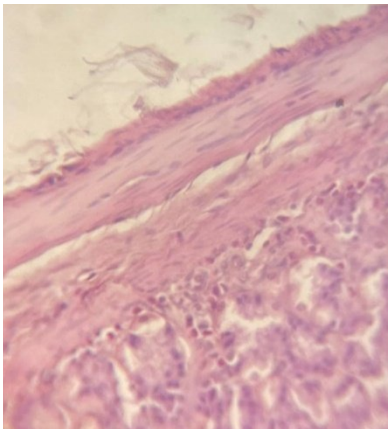


б)

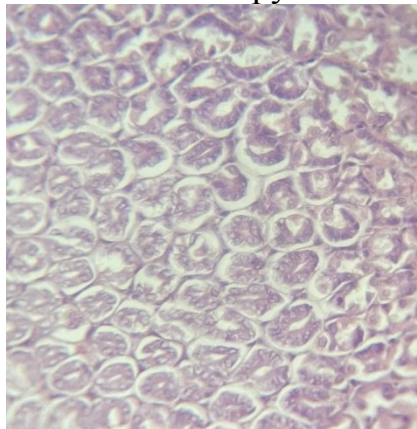


в)

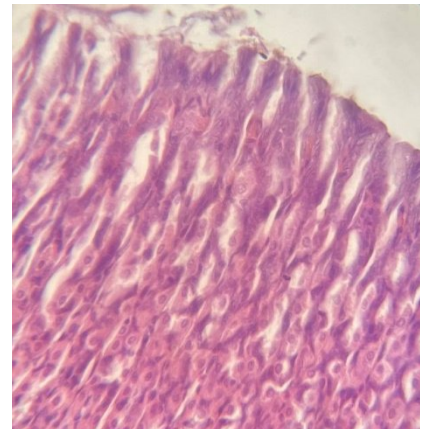
Опытная группа



г)



д)



е)

Рисунок 4.14 – Гистологическое строение желудка крыс: а), б), в), г), д) и е)
ув. 400х

Желудок особей обеих групп типичного строения, у всех животных представлен слизистым слоем, париетальными клетками, фундальными железами, подслизистой, мышечной и серозной оболочками. Слизистая оболочка с желудочными ямками обыкновенного вида, выстилка эпителиальных клеток сохранена. Париетальные клетки и железы обычного вида. Подслизистая, мышечная и серозная оболочки также имеют типичное строение.

Семенники всех исследуемых особей имеют типичное строение. Семенные канальца разграничены интерстициальной соединительной тканью с клетками Лейдига. Стенка канальца представлена дифференцирующимися клетками

сперматогониями, и преобразующимися сперматидами, в извитых канальцах виден процесс сперматогенеза.

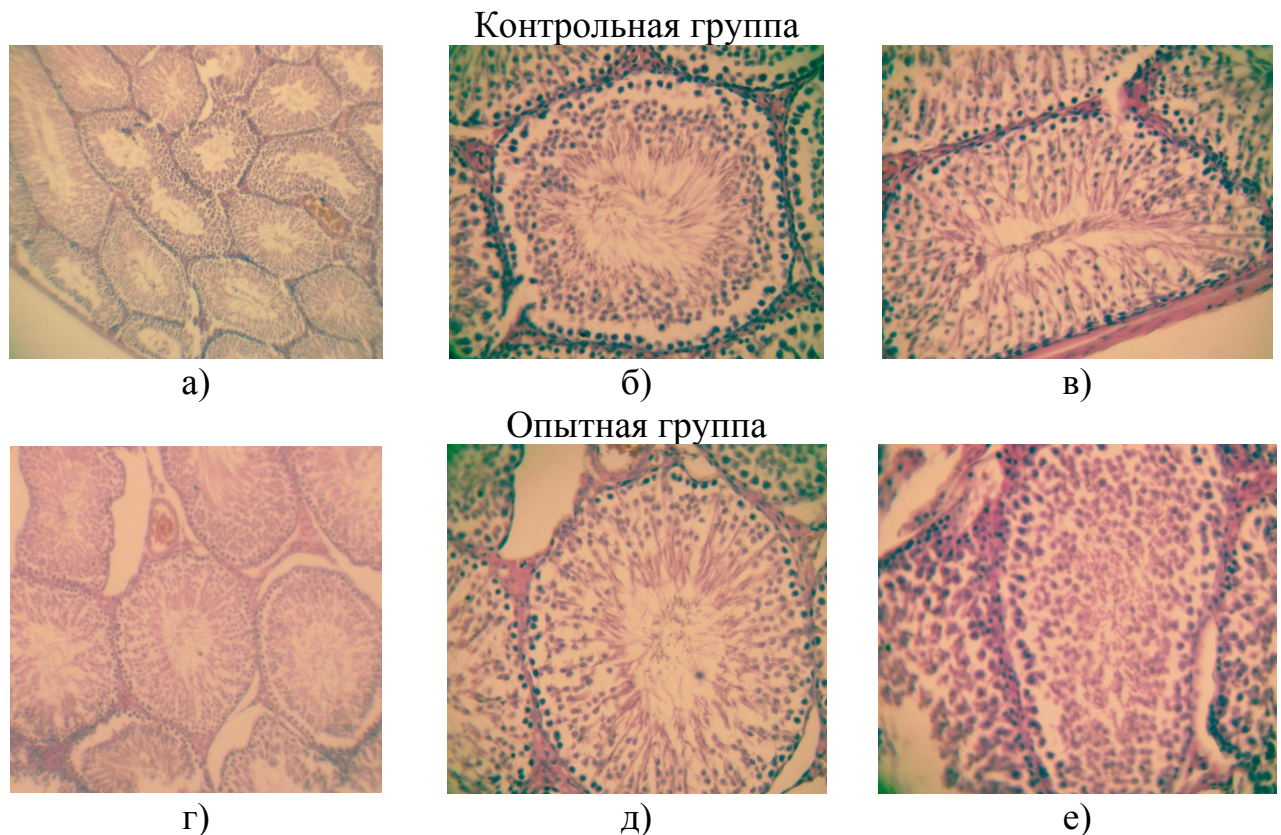


Рисунок 4.15 – Гистологическое строение семенника крыс: а) и г) ув. 100х; б), в), д) и е) ув. 400х

Кишечник крыс обеих исследуемых групп типичного гистологического строения, что отображено на рисунке 4.16. Ворсины длинные, крипты контрольных особей глубокие, опытных средней глубины, слабо извитые, в криптах всех животных средняя митотическая активность. Эпителиальная выстилка ворсин сохранена. Подслизистый, мышечный и серозные слои типичного вида.

Подводя итоги изучения влияния обогащающей пищевой композиции на морфофункциональное состояние организма крыс стоит отметить, что дополнительное введение в рацион опытной группы цинка в количестве 0,075 мг на одну особь приводит к повышению аккумуляции данного элемента в семенниках и печени на 35,0 % и 24,2 % относительно контрольной группы, а также в крови на 13,0 %. Исследование показывает, что внесение в рацион хлеба,

обогащенной композицией из хитозана и цинка, приводит к повышению концентрации Zn в ключевых органах испытуемых крыс. Полученные данные подтверждают биодоступность вносимого элемента и его успешное распределение в организме.

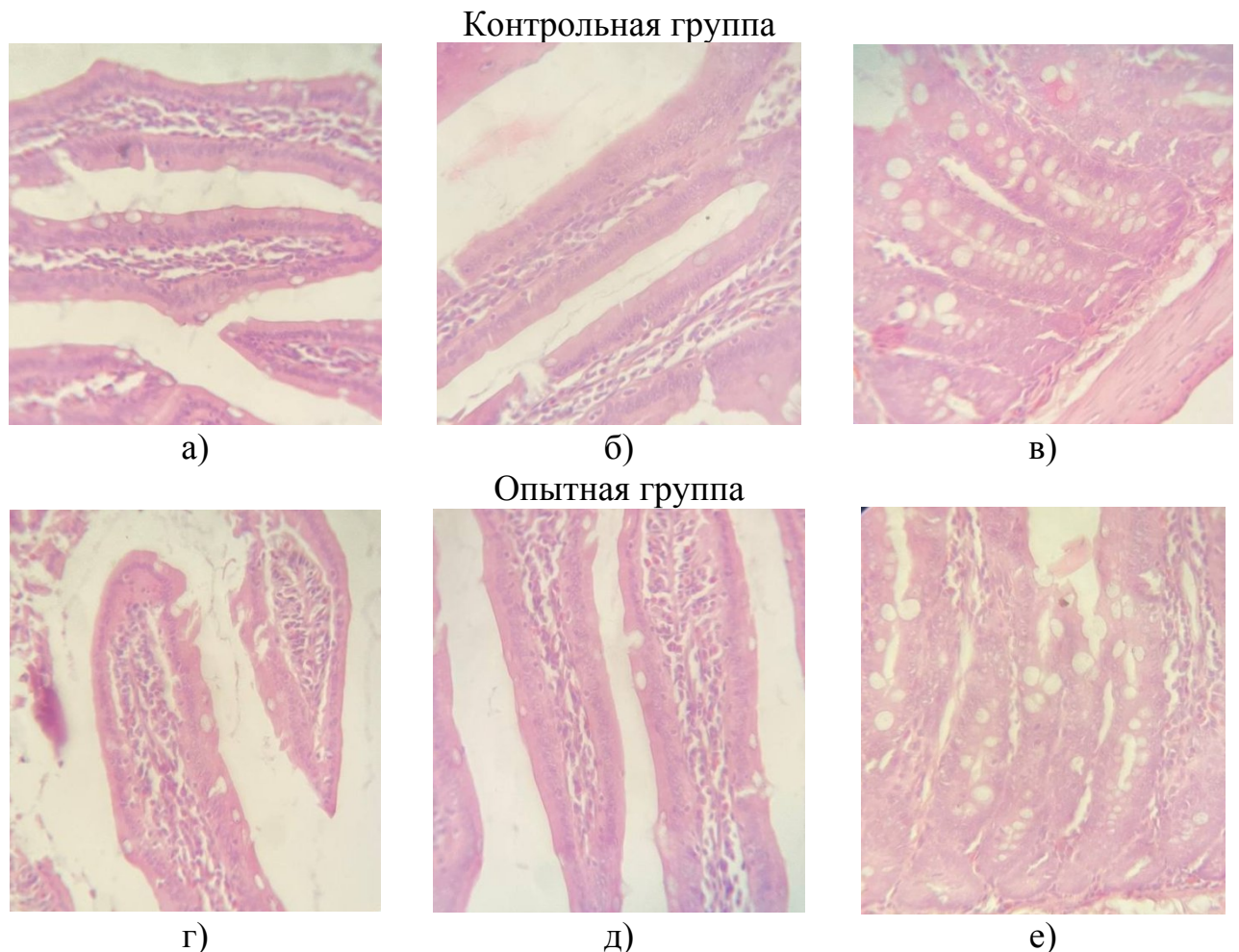


Рисунок 4.16 – Гистологическое строение кишечника крыс: а) б), в), г), д) и е) ув. 400х

Помимо прочего, у животных опытной группы при гистологическом исследовании отмечено правильное морфологическое строение исследуемых органов, в то время как у животных контрольной группы присутствует белковая дистрофия гепатоцитов в умеренной форме. В морфологическом строении печени и почек крыс контрольной и опытной группы не было обнаружено значимых патологических изменений. Наличие зернистой дистрофии является компенсаторно-приспособительной реакцией печени на несбалансированное кормление. Данная дистрофия является полностью обратимой. Так как в печени и

почках не было обнаружено очагов воспаления, некроза или фиброза, можно сделать вывод, что композиция из хитозана и цинка является нетоксичной и хорошо переносится животными.

При анализе показателей крови установлено достоверное повышение содержания глюкозы в крови контрольных крыс, что, вероятно, связано со спецификой высокоуглеводной диеты животных с преобладанием в пище простых углеводов на время исследования. В опытной группе показатель глюкозы в рамках нормы, предположительно, благодаря участию цинка в процессах метаболизма углеводов. Стоит отметить, что ложное повышение концентрации глюкозы, при прочих показателях в пределах нормы, может быть обусловлено нарушением соблюдения голодной диеты (24-36 часов) в период перед отбором крови.

Снижение активности щелочной фосфатазы и содержания фосфора в крови опытных крыс вызывает вопросы, так как по другим показателям наличие коррелирующих патологий не установлено. Одной из причин может быть снижение функции щитовидной железы, что по исследованным показателям подтвердить или опровергнуть нельзя из-за недостаточности сведений. Вероятно, также антагонистичное влияние потребляемого сверх нормы цинка, однако по прочим потенциальным элементам-антагонистам, в частности меди и кальцию, нарушений обнаружено не было.

Присутствие в лейкоформуле опытных крыс недостоверного повышения эозинофилов и появление базофилов может свидетельствовать, помимо прочего, о наличии аллергической реакции, в том числе пищевой аллергии. Однако, необходимо отметить, что фиксируемые значения находятся в пределах нормы, аллергической реакции у животных обнаружено не было.

ГЛАВА 5. РАСЧЕТ ОТПУСКНОЙ ЦЕНЫ ОБОГАЩЕННОГО ХЛЕБА ЗАБАЙКАЛЬСКОГО

Применение методов иммобилизации эссенциальных элементов на поверхности биополимерного носителя с целью обогащения хлебобулочных изделий, как показано в предыдущей главе, позволяет достичь функционального эффекта от производимой продукции и обеспечивает профилактику микроэлементоза в выбранном регионе с выявленным распространенным дефицитом среди населения. Важным этапом запуска нового продукта в производство является расчет его экономической рентабельности. Для оценки занимаемого продуктом ценового сегмента произведен расчет отпускной цены обогащающей композиции из хитозана и цинка, а также изделия хлеба забайкальского формового обогащенного композицией из хитозана и цинка.

Формирование себестоимости обогащающей композиции производилось исходя из рыночных оптовых цен актуальных на момент произведения расчета. При подсчете рыночной стоимости продукции необходимо брать в учет способ получения функционального агента организацией, так как итоговые затраты различны в зависимости от того, осуществляется ли производство композиции непосредственно на хлебопекарном предприятии, либо же заранее заготовленное приобретенное сырье вносится в рецептуру существующего ассортимента изделий. Важно это, ввиду существенных отличий между оптовыми и розничными ценами сырья необходимого для производства обогащающей композиции. Приобретение хитозана пищевого и семиводного сульфата цинка напрямую у производителя по оптовой цене целесообразнее, учитывая высокую розничную цену перечисленного сырья. Кроме того, хитозан и сульфат цинка представляют собой сырье с длительным сроком хранения, что облегчает закупку данных компонентов в оптовых объемах. Рост интереса рынка к продуктам переработки панцирей насекомых и ракообразных создает предпосылки для увеличения производства хитозана в России, что, в свою очередь, может привести к снижению закупочной стоимости данного материала в будущем [115, 117, 134, 149]. При внедрении обогащающей композиции в производственный процесс

хлебопекарного предприятия необходимо приобретение дополнительного оборудования и учет его амортизации в расчете стоимости готовой продукции. Оснащение предприятия, предоставляющее возможность производства обогащающей композиции, включает в себя: аквадистиллятор; установку обеспечивающую равномерную сушку, в частности шкаф сушильный с принудительной конвекцией или системой вакуумной сушки; смеситель пищевой; весы технические для взвешивания массы носителя; весы техно-аналитические для взвешивания неорганической формы элемента. Вычисления формировались из расчета производства обогащающей композиции непосредственно на хлебопекарном предприятии. В таблице 5.1 представлены основные показатели расчета затрат на сырье необходимое для производства 1 т композиции.

Таблица 5.1 – Расчет стоимости сырья необходимого для производства обогащающей композиции из хитозана и цинка

Наименование	Цена за 1 кг, руб	Расход сырья на 1 кг продукции, кг	Сумма затрат на 1 кг продукции, руб	Сумма затрат на 1 т продукции, руб
Сырье:				
Хитозан пищевой	1650	1,05	1732	1732000
Цинк сернокислый 7-водный (ХЧ)	295	0,1384	40,82	40820
Дополнительное сырье:				
Вода дистиллированная	30	60	1800	1800000
Итого			3572,82	3572820

В таблице 5.2 представлены основные показатели расчета себестоимости и проекта оптовой цены 1 т хлеба забайкальского формового.

Таблица 5.2 – Расчет плановой калькуляции 1 т хлеба забайкальского формового

Статьи и калькуляции	Цена за 1 кг, руб	Расход сырья на 1 т продукции, кг	Сумма затрат на 1 т продукции, руб
Сырье:			
Мука пшеничная хлебопекарная цельнозерновая	40	500	20000
Мука пшеничная хлебопекарная второго сорта	20	500	10000

Статьи и калькуляции	Цена за 1 кг, руб	Расход сырья на 1 т продукции, кг	Сумма затрат на 1 т продукции, руб
Дополнительное сырье:			
Соль пищевая	11	15	165
Дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие	280	5	1400
Итого на сырье			31565
Прочие расходы:			
Транспортно-заготовительные расходы			1578,25
Тепло			1170
Электроэнергия			1680
Основная и дополнительная заработная плата			3037,33
Страховые платежи			917,2747
Расходы на содержание оборудования			1578,25
Общехозяйственные расходы			1578,25
Производственная себестоимость			43104,36
Коммерческие расходы			331,9036
Полная себестоимость			43436,26
Рентабельность, %			15
Прибыль			6515,439
Оптовая цена			49951,7
НДС (20 %)			9990,34
Отпускная цена с НДС			59942,04
Торговая наценка, %			8991,306
Розничная цена продукции			68933,35
Розничная цена 1 кг готовых изделий, руб			68,93335
Розничная цена 1 изделия массой 700 г, руб			48,25334

В таблице 5.3 представлены основные показатели расчета затрат на сырье необходимое для производства 1 т хлеба забайкальского формового.

Таблица 5.3 – Расчет отпускной цены хлеба забайкальского формового обогащенного композицией из хитозана и цинка

Статьи и калькуляции	Цена за 1 кг, руб	Расход сырья на 1 т продукции, кг	Сумма затрат на 1 т продукции, руб
Сырье:			
Мука пшеничная хлебопекарная цельнозерновая	40	500	20000
Мука пшеничная хлебопекарная второго сорта	20	498	9960
Дополнительное сырье:			
Соль пищевая	11	15	165
Дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие	280	5	1400

Статьи и калькуляции	Цена за 1 кг, руб	Расход сырья на 1 т продукции, кг	Сумма затрат на 1 т продукции, руб
Обогащающая композиция из хитозана и цинка	3573	2	7146
Итого на сырье			38671
Прочие расходы:			
Транспортно-заготовительные расходы			1933,55
Тепло			1170
Электроэнергия			3100
Основная и дополнительная заработная плата			3166
Страховые платежи			956,132
Расходы на содержание оборудования			3867,1
Общехозяйственные расходы			1933,55
Производственная себестоимость			54797,33
Коммерческие расходы			421,9395
Полная себестоимость			55219,27
Рентабельность, %			15
Прибыль			8282,891
Оптовая цена			63502,16
НДС (20 %)			12700,43
Отпускная цена с НДС			76202,59
Торговая наценка, %			11430,39
Розничная цена продукции			87632,98
Розничная цена 1 кг готовых изделий, руб			87,63298
Розничная цена 1 изделия массой 700 г, руб			61,34309

С учетом затрат на производство обогащающей композиции непосредственно на хлебопекарном предприятии малой мощности итоговая стоимость 1 кг обогащенного забайкальского хлеба превышает изначальную на 13,08975 руб. Стоимость разработанной продукции возросла в результате расширения позиций производственного оборудования и увеличения затрат на их обслуживание, однако, несмотря на перечисленные изменения, цена готового изделия остается в пределах среднерыночного уровня, что обеспечивает конкурентоспособность усовершенствованной рецептуры.

Полученные результаты подтверждают экономическую целесообразность реализации технологии обогащения пищевых систем эссенциальными элементами в целях расширения ассортимента рынка, направленного на профилактику распространенных на территории РФ микроэлементозов.

ВЫВОДЫ

1. Сформирован список наиболее распространенных дефицитов элементов в организме жителей макрорегионов РФ. Так, дефицит цинка отмечен на территории субъектов 7 макрорегионов, йода на территории субъектов 6 макрорегионов и меди на территории субъектов 5 макрорегионов. На основании сравнительного анализа рецептур оптимальной признана формула забайкальского хлеба. Анализ ассортимента выявил ограничение в разнообразии функциональных хлебобулочных изделий на региональном рынке.

2. Разработан способ получения обогащающей пищевой композиции из иммобилизованного на хитозане цинка. Установлены рациональные параметры сорбции семиводного сульфата цинка на поверхности хитозана: оптимальная масса навески сорбента, максимальный объем сорбции хитозана, минимальное время, требуемое для эффективной сорбции. Методом атомно-абсорбционной спектроскопии определена точная концентрация цинка, закрепляемого в массе 1 г хитозана, равная $25,9 \pm 0,3$ мг. Методом СЭМ изучено влияние процессов сорбции на микроструктуру поверхности хитозана. Обнаружено, что иммобилизация цинка модифицирует поверхность аминополисахарида, сохраняя пористую архитектуру и создавая оптимальную морфологию для контролируемого высвобождения ионов, что подтверждается равномерным распределением металла без образования кристаллических фаз.

3. Установлено повышение выделения CO_2 с 860 до 1060 cm^3 в процессе брожения обогащенного теста, испытуемые образцы демонстрируют результаты характерные для муки с сильной газодерживающей способностью при диаметре шарика теста не более 71,0 мм и шарика сырой клейковины не более 27,5 мм. Зафиксирована интенсификация спиртового и молочнокислого брожения при внесении обогащающей композиции в тесто. Исследовано влияние внесения композиции на органолептические и физико-химические свойства готового хлеба. Отмечено умеренное повышение пористости изделия с 63 до 64 %.

4. Оценка общей токсичности разработанной композиции производилась на основе её воздействия на пшеничную муку высшего сорта и цельнозерновую с использованием инфузорий рода стилонихии (*Stylonychia mytilus*). При экспозиции в водном экстракте выживаемость инфузорий увеличилась на 5,94 % и 7,08 % для образцов муки высшего сорта и цельнозерновой соответственно, в ацетоновом экстракте - на 5,71 % и 6,05 %. В результате исследования биодоступности разработанной композиции путем изучения влияния обогащенного хлеба на организм лабораторных животных, крыс линии Wistar, отмечено повышение содержания цинка в печени, семенниках и крови опытной группы на 35,0; 24,2 и 13,0 % в сравнении с контрольной. В контрольной группе обнаружена умеренная форма белковой дистрофии гепатоцитов и повышенное

содержание глюкозы в крови, нивелируемое в опытной группе благодаря влиянию эссенциального цинка на процессы метаболизма углеводов в организме крыс.

5. Методом атомно-абсорбционной спектрометрии установлено содержание цинка в обогащенном изделии, равное 3,39 мг на 100 г, из них внесенного элемента 2,6 мг, что составляет 28,25 % от средней суточной нормы потребления. На основе справочных данных проведена теоретическая оценка нутриентного состава, пищевой и биологической ценности готового обогащенного изделия.

6. Сформирована нормативная документация на композицию из хитозана и цинка ТУ 10.61.22-012-00492894-2024 и хлеб обогащенный ею ТУ 10.61.22-005-00492894-2025, произведена промышленная апробация на базе предприятий АО «Тобус», НУПЦТИГ ФГБОУ ВО «ВГУИТ» и ООО «Эдди», продемонстрирована экономическая целесообразность производства хлеба забайкальского обогащенного цинком. Розничная цена 1 кг готового изделия оценена в 87,63 рубля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдулжанова, М. А. Микрокапсулирование пробиотика в матрицу природных полимеров. / М. А. Абдулжанова, И. С. Савицкая, А. С. Кистаубаева // Вестник КазНУ. Серия биологическая. – 2021. – № 85(4). – С. 44-52.
2. Авторское свидетельство № 1594216 А1 СССР, МПК С12N 11/00. Способ получения иммобилизованных клеток, обладающих бродильной активностью: № 4362823: заявл. 11.01.1988: опубл. 23.09.1990 / Н. А. Кудряшов, Н. М. Агеева, Э. М. Соболев, В. А. Толмачев; заявитель Краснодарский Политехнический Институт. – 4 с.
3. Авторское свидетельство № 1731815 А1 СССР, МПК С12N 11/04. Способ получения иммобилизованных клеток, обладающих глюкозоизомеразной активностью: № 4813977: заявл. 12.04.1990: опубл. 07.05.1992 / И. А. Ямсков, Е. Н. Ефременко, М. С. Мосичев; заявитель Институт Элементоорганических Соединений Им. А. Н. Несмеянова. – 4 с.
4. Авторское свидетельство № 443902 А1 СССР, МПК С12D 13/10. Способ получения ферментов, иммобилизованных в структуре полимеризационных гелей: № 1953355/28-13: заявл. 13.09.1973: опубл. 25.09.1974 / А. И. Кестнер, М. И. Креэн; заявитель Таллинский политехнический институт. – 2 с.
5. Авторское свидетельство № 608804 А1 СССР, МПК С07G 7/02. Способ получения иммобилизованных ферментных препаратов: № 2378187: заявл. 28.06.1976: опубл. 30.05.1978 / С. В. Ельчиц, В. Б. Пичко, В. А. Чугуй; заявитель Киевский Технологический Институт Пищевой Промышленности. – 3 с.
6. Авторское свидетельство № 654620 А1 СССР, МПК С07G 7/02. Способ получения иммобилизованных ферментов: № 2426265: заявл. 06.12.1976: опубл. 30.03.1979 / Н. А. Платэ, Л. И. Валуев, Л. Е. Котова; заявитель Московский Ордена Ленина И Ордена Трудового Красного Знамени Государственный Университет Им. М. В. Ломоносова. – 3 с.

7. Авторское свидетельство № 672203 А1 СССР, МПК C07F 7/08. Способ иммобилизации фермента на кремнеземсодержащем материале: № 2300323: заявл. 15.12.1975: опубл. 05.07.1979 / А. А. Чуйко, В. А. Тертых, Е. И. Федорченко [и др.]; заявитель Институт Физической Химии Им. Л. В. Писаржевского АН Украинской ССР, Институт Биохимии Им. А.В. Палладина АН Украинской ССР. – 3 с.
8. Адиева, Г. Ф. Возрастные и половые особенности содержания химических элементов в волосах жителей г. Уфы / Г. Ф. Адиева, Т. К. Ларионова, Р. А. Даукаев [и др.] // Якутский медицинский журнал. – 2024. – № 2(86). – С. 21-25.
9. Амиров, Д. К. Современные вызовы и правовое обеспечение продовольственной безопасности российской федерации / Д. К. Амиров // Наука. Образование. Современность / Science. Education. The present. – 2022. – № 1(4). – С. 65-69.
10. Ахмедзянова, Р. Р. Предварительная обработка лигноцеллюлозного сырья для проведения ферментативного гидролиза / Р. Р. Ахмедзянова, Р. Т. Валеева, Д. В. Тунцев // Школа молодых новаторов : сборник научных статей 4-й Международной научной конференции перспективных разработок молодых ученых, Курск, 13 июня 2023 года / Северо-Кавказский федеральный университет, Пятигорский институт. Том 2. – Курск: Закрытое акционерное общество "Университетская книга", 2023. – С. 386-389.
11. Барковская, И. А. Дефицит йода в россии: современное состояние проблемы, мировая практика и новые подходы к терапии / И. А. Барковская, А. Г. Кручинин, И. В. Рожкова // Пищевые системы. – 2024. – № 7(2). – С. 238-245.
12. Батурина, Н. А. Ассортимент и Качество диетических хлебобулочных изделий на потребительском рынке / Н. А. Батурина // Научные Записки ОрелГИЭТ. – 2022. – № 1(41). – С. 42-48.
13. Беляева, Т. Н. Оценка протекторных возможностей матрицы хитозана по отношению к коллагеназе при адсорбционной иммобилизации / Т. Н. Беляева, М. Г. Холявка, В. Г. Артюхов // Современная биотехнология: актуальные

вопросы, инновации и достижения : Сборник тезисов Всероссийской с международным участием онлайн-конференции, Кемерово, 21 октября 2020 года / Под общей редакцией А.Ю. Просекова. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2020. – С. 31-32.

14. Берсенёва, В. С. Сорбционные методы выделения продуктов биосинтеза : учеб. пособие / В. С. Берсенёва, В. А. Бакулев. – Екатеринбург : Издво Урал. ун-та, 2018. – 80 с.

15. Бирдибекова, А. В. Иммобилизация коллагена на модифицированные в плазме пленки полилактида / А. В. Бирдибекова, Т. С. Демина, А. Б. Гильман [и др.] // Наноиндустрия. – 2021. – № 14(S6). – С. 306-312.

16. Болотова, К. С. Классификация и морфологические особенности микроорганизмов: учебно-методич. пособие / К. С. Болотова, К. Ю. Терентьев [и др.]. Архангельск: Изд-во САФУ, 2015. – 182 с.

17. Болотова, Н. В. Проявление микроэлементозов у детей с различным нутритивным статусом / Н. В. Болотова, А. А. Скальный, Н. Ю. Филина [и др.] // Микроэлементы в медицине. – 2022. – № 23(4). – С. 62-69.

18. Большакова, А. В. Спецпрактикум по высокомолекулярным соединениям «Исследование структуры полимеров электронно-микроскопическими методами». Методическое пособие для студентов и аспирантов химического факультета МГУ, обучающихся по специальности «Высокомолекулярные соединения» / А. В. Большакова, Е. С. Трофимчук // Москва, 2022. – 36 с.

19. Бутенко, И. В. Статистическое исследование динамики объемов производства хлеба и хлебобулочных изделий в России на современном этапе / И. В. Бутенко, О. А. Думчина // Научные Записки ОрелГИЭТ. – 2020. – № 3(35). – С. 10-14.

20. Буткевич, Т. В. Сорбция тяжелых металлов хитозан-глюкановым комплексом из *Aspergillus niger* / Т. В. Буткевич, Н. В. Сушинская, В. П. Курченко // Молекулярно-генетические и биотехнологические основы получения и применения синтетических и природных биологически активных веществ

(Нарочанские чтения - 11) : материалы Международной научно-практической конференции, Минск - Ставрополь, 20–23 сентября 2017 года.: Северо-Кавказский федеральный университет, 2017. – С. 18-23.

21. Буховец, В. А. Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 35.03.07 Технология производства и переработки растениеводческой продукции, профиль подготовки Технологии пищевых производств в АПК / В. А. Буховец. ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». 2018. – 47 с.

22. Вагнер, В. Д. Прогностическая значимость определения фторид-ионов в ротовой жидкости при остром перикороните / В. Д. Вагнер, Е. А. Сарф, Л. В. Бельская, А. С. Коршунов [и др.] // Вестник РГМУ. – 2022. – №4. – С. 57-64.

23. Валиев, А. Р. Приоритеты развития агропромышленного комплекса и задачи аграрной науки и образования / А. Р. Валиев, Р. М. Низамов, Р. И. Сафин [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 17(1). – С. 97-107.

24. Воронов, Г. Г. Хелатные формы минералов – шаг в будущее / Г. Г. Воронов // Рецепт. – 2020. – № 23(1). – С. 131-145.

25. Гаврилова, В. И. Целлюлозолитическая активность почв: методы измерения, факторы и эколого-географическая изменчивость / В. И. Гаврилова, М. И. Герасимова // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. – 2019. – № 1. – С. 23-27.

26. Гартованная, Е. А. Тенденции формирования экономической ситуации и пути решения в региональной хлебопекарной отрасли / Е. А. Гартованная, О. В. Гончарук, А. В. Ермолаева // Экономика и предпринимательство. – 2021. – № 8(133). – С. 489-492.

27. Гипаева, Г. А. Содержание эссенциальных микроэлементов в сыворотке крови здоровых и заболевших коронавирусной инфекцией в Ростовской области / Г. А. Гипаева, З. С. Гуриева, Ж. Г. Плиева, М. Г. Чухрова // International Journal of Medicine and Psychology. – 2022. – № 5(5). – С. 144-151.

28. Голицына, К. О. Изучение адсорбции соединений цинка из водных растворов биологически-активных добавок / К. О. Голицына, Р. К. Галоян, Т. О. Богаткина // Инновационные технологии в фармации : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Иркутск, 09 июня 2023 года / Под общей редакцией Е.Г. Приваловой. Том Выпуск 10. – Иркутск: Иркутский государственный медицинский университет, 2023. – С. 234-239.
29. Горбачев, А. Л. Особенности взаимосвязи элементного состава и иммунных реакций у представителей этнодемографических групп северо-востока России / А. Л. Горбачев, А. А. Киричук, Н. В. Похилук // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2023. – № 31(1). – С. 55-69.
30. ГОСТ Р 52349-2005 Продукты пищевые. Продукты пищевые функциональные. Термины и определения. - М.: Стандартинформ, 2006. – 8 с.
31. ГОСТ Р 55577-2013 Продукты пищевые функциональные. Информация об отличительных признаках и эффективности. - М.: Стандартинформ, 2014. – 27 с.
32. Доба, С. Х. Изучение противоязвенной активности гелей, содержащих хитозан и его комбинацию с таурином на моделях этаноловой и стрессорной язвы в доклинических исследованиях / С. Х. Доба // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. – 2021. – №4. – С. 126-131.
33. Долгопятова, Н. В. Влияние условий деацетилирования на физико-химические свойства хитозана из панциря ракообразных / Н. В. Долгопятова, В. Ю. Новиков, Ю. А. Кучина, И. Н. Коновалова // Известия ВУЗов. Химия и химическая технология. – 2022. – №5. – С. 77-86.
34. Дубовец, Н. И. Проблема дефицита цинка в рационе питания населения и биотехнологические подходы к ее решению / Н. И. Дубовец, Н. М. Казнина, О. А. Орловская, Е. А. Сычева // Молекулярная и прикладная генетика. – 2021. – №. 31. – С. 147-158.
35. Думанишева, З. С. Формирование качества хлебобулочных изделий с продуктами переработки растительного сырья / З. С. Думанишева, К. Х.

Доткулова // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. – 2023. – № 1(39). – С. 143-149.

36. Егорова, О. С. Факторы, влияющие на качество и сроки годности напитков брожения из плодового сырья: обзор предметного поля / О. С. Егорова, Д. Р. Акбулатова, А. А. Шилкин // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2023. – № 2. – С. 14-32.

37. Жантлесова, С. Д. Иммобилизация клеток пробиотических микроорганизмов для разработки функциональных продуктов питания / С. Д. Жантлесова // МНИЖ. – 2021. – № 3(105). – С. 23-27.

38. Жигулина, А. А. Иммобилизованные ферменты. Современные методы получения и применение в медицинской практике / А. А. Жигулина, И. Ц. Галсанова // Природные соединения и здоровье человека : Сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых ученых с международным участием, Иркутск, 26 мая 2023 года. Том Выпуск 5. – Иркутск: Иркутский государственный медицинский университет. – 2023. – С. 135-138.

39. Захаров, Д. Е. Очистка сточных вод на катионите из отходов древесины и хитозана в ионитовом фильтре при чрезвычайных ситуациях / Д. Е. Захаров, С. В. Натарева, Д. Г. Снегирев // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020. – № 4(37). – С. 56-61.

40. Зенина, Е. А. Влияние функциональной добавки активированного угля на качество хлебобулочного изделия / Е. А. Зенина, Е. Н. Ефремова // Вестник КрасГАУ. – 2020. – № 3(156). – С. 143-149.

41. Кадималиев, Д. А. Влияние модификации гель-пленки бактериальной целлюлозы на ее механические свойства и способность ковалентно связывать ферменты / Д. А. Кадималиев, А. А. Девятаева, И. П. Грунюшкин [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия Б. – 2021. – № 63(3). – С. 183-189.

42. Кадрматова, Г. Физико-химическая характеристика хлеба с хитозансодержащими добавками / Г. Кадрматова, В. Малкина, Л. Горшкова // Хлебопродукты. – 2011. – № 9. – С. 68-70.

43. Камаева, А. Ю. Иммобилизация амилазы на различных носителях / А. Ю. Камаева, В. В. Юрченко, Л. П. Ларионов // Материалы XVII Всероссийской (национальной) научно-технической конференции студентов и аспирантов. – УГЛТУ, 2021. – С. 450-452.
44. Карнаухова, И. В. Оценка обеспеченности детей, находящихся на естественном вскармливании, эссенциальными микроэлементами / И. В. Карнаухова, И. В. Мачнева, Е. Н. Лебедева // Актуальные проблемы общей и клинической биохимии - 2023 : сборник материалов республиканской научно-практической конференции, Гродно, 26 мая 2023 года. – Гродно: Гродненский государственный медицинский университет, 2023. – С. 322-325.
45. Коврижников, А. В. Получение жизнеспособных клеток *Azospirillum brasilense* sr80, инкапсулированных в альгинатный гидрогель / А. В. Коврижников, Т. Ю. Пылаев, А. М. Захаревич [и др.] // Изв. Саратов. ун-та Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. – 2021. – №3. – С. 298-303.
46. Колпакова, Д. Е. Микробная биофортификация злаковых культур: перспективы и текущее развитие / Д. Е. Колпакова, Ю. Р. Серазетдинова, Н. В. Фотина, А. В. Заушинцена, Л. К. Асякина, А. И. Лосева // Техника и технология пищевых производств. – 2024. – № 2. – С. 191-211.
47. Комиссаренков, А. А. Сорбционные технологии. определение свойств сорбентов: учебно-методическое пособие для выполнения курсовой работы / А. А. Комиссаренков, О. В. Федорова. - СПб.: СПбГТУРП, 2015. – 44 с.
48. Комкова, О. Г. Разработка безглютенового хлебобулочного изделия с повышенным содержанием йода / О. Г. Комкова, А. Е. Толокнова // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий : Сборник V Всероссийской (национальной) научной конференции, Новосибирск, 18 декабря 2020 года. – Новосибирск: Издательский центр Новосибирского государственного аграрного университета "Золотой колос", 2020. – С. 301-303.
49. Корячкина, С. Я. Методы исследования качества хлебобулочных изделий: учебно-методическое пособие для вузов / С. Я. Корячкина, Н. А. Березина, Е. В. Хмелева. – Орел: ОрелГТУ, 2010. – 166 с.

50. Корячкина, С. Я. Методы исследования свойств сырья, полуфабрикатов и готовой продукции. Методы исследования свойств растительного сырья: учебно-методическое пособие для высшего профессионального образования / С. Я. Корячкина, Н. А. Березина, Е. В. Хмельёва. – Орел: ФГОУ ВПО «Госуниверситет УНПК», 2011. – 297 с.

51. Косован, А. П. Сборник рецептур на хлебобулочные изделия, вырабатываемые по государственным стандартам / Гос. НИИ хлебопекар. пром-сти (ГосНИИХП); Принимали участие: А. П. Косован (руководитель) [и др.] - М.: Артель-М, 1998. – 87 с.

52. Костюченко, М. Н. Новая экономическая реальность: адаптация хлебопекарной отрасли к меняющимся трендам развития рынка / М. Н. Костюченко, [и др.] // Хлебопечение России. – 2023. – № 3. – С. 16-21.

53. Котенко, С. Ц. Ферментативная активность и морфологические особенности дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* Y-503 при культивировании в аэробных и анаэробных условиях / С. Ц. Котенко, Э. А. Исламмагомедова, Э. А. Халилова // Юг России: экология, развитие. – 2010. – № 1. – С. 12-16.

54. Крюкова, Е. В. Использование нетрадиционного растительного сырья в производстве хлебобулочных изделий / Е. В. Крюкова, В. В. Квардин // Потребительский рынок: качество и безопасность товаров и услуг : Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 85-летию образования Орловской области, Орёл, 30 ноября 2022 года. – Орёл: Издательство «Картуш». – 2022. – С. 121-125.

55. Кузнецова, Э. Р. Анализ регионального рынка хлебобулочных и мучных изделий / Э. Р. Кузнецова, К. С. Некрасова, В. И. Вотинцева // Стратегии бизнеса. – 2022. – № 11. – С. 276-278.

56. Курочкин, И. Н. Ферменты в развитии физико-химических методов для биомедицинских исследований / И. Н. Курочкин, А. Д. Васильева, Е. Г. Евтушенко, А. В. Еременко [и др.] // Вестник Московского университета. Серия 2. Химия. – 2023. – №4. – С. 353-376.

57. Кутищева, Е. С. Способы получения высокодисперсного диоксида кремния / Е. С. Кутищева, И. О. Усольцева, Ю. В. Передерин / Ползуновский вестник. – 2021. – №2. – С. 188-193.
58. Лавлинская, М. С. Адсорбционная иммобилизация ферментов на альгинатах: свойства и применение препаратов на их основе. Краткий обзор / М. С. Лавлинская, А. В. Сорокин, Ю. Ф. Зуев [и др.] // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2023. – № 23(5). – С. 924-937.
59. Лазарева, К. Д. Современное состояние рынка хлеба и хлебобулочных изделий России / К. Д. Лазарева, В. В. Торопова // Аграрная наука и образование: проблемы и перспективы : Сборник статей Национальной научно-практической конференции, Саратов, 28 марта – 01 2022 года. – Саратов: ООО "Центр социальных агроинноваций СГАУ", 2022. – С. 227-231.
60. Ларин, С. Л. Влияние разноразмерных соединений цинка на подъемную силу тест-культуры *Saccharomyces cerevisiae* / С. Л. Ларин, Е. В. Будко, А. А. Хабаров // Международный научно-исследовательский журнал. – 2016. – Т. 8, № 5. – С. 180-185.
61. Луговая, Е. А. Дисбаланс химических элементов в организме жителей циркумполярного региона как отражение геохимических факторов среды / Е. А. Луговая, Е. М. Степанова // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. – 2024. – № 1. – С. 153-159.
62. Львова, Г. Н. Хлебопекарная промышленность как составляющая продовольственной безопасности страны / Г. Н. Львова // Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Серия 1: Экономика и управление. – 2022. – № 2(41). – С. 22-31.
63. Любецкая, Т. Р. Бронникова В. Технология продукции общественного питания. Теория и практика. Решение задач / Т. Р. Любецкая, В. В. Бронникова. - М.: Дашков и К°, 2024. – 140 с.
64. Мазалецкая, А. Л. Особенности элементного статуса взрослого населения города Ярославля / А. Л. Мазалецкая, А. А. Скальный, Е. П. Серебрянский [и др.] // Микроэлементы в медицине. – 2022. – № 23(4). – С. 27-36.

65. Максимова, С. Н. Переработка вторичного крабового сырья: перспективы и риски / С. Н. Максимова, Д. В. Полещук, А. А. Миргородов // Научные труды Дальрыбвтуза. – 2024. – №2. – С. 53-60.
66. Максимова, Ю. Г. Каталитические свойства и иммобилизация ферментных препаратов, содержащих липазу галоалкалотолерантных бактерий *Pseudomonas peli* и *Bacillus aequororis* / Ю. Г. Максимова, Е. В. Пьянкова, А. Д. Елисеева [и др.] // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2023. – № 3(46). – С. 359-369.
67. Малкина, В. Д. Хитозан и его производные в технологии хлеба / В. Д. Малкина, Г. Г. Кадрматова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 4. – С. 67-69.
68. Маньшин, А. А. Тенденции развития общественного питания в потребительской кооперации / А. А. Маньшин, А. Э. Матюшевская // Исследования молодых ученых : материалы студенческой международной научно-практической конференции. – Курск: Курский институт кооперации (филиал) Автономной некоммерческой организации высшего профессионального образования "Белгородский университет кооперации, экономики и права". – 2023. – С. 100-108.
69. Марченко, Б. И. Анализ заболеваемости населения промышленного города, связанной с дефицитом микронутриентов / Б. И. Марченко, К. С. Тарасенко // Фундаментальные и прикладные аспекты анализа риска здоровью населения - 2023 : материалы всероссийской научно-практической интернет-конференции молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора с международным участием, Пермь, 11–13 октября 2023 года. – Пермь: Пермский национальный исследовательский политехнический университет. – 2023. – С. 236-242.
70. Масютин, Я. А. Исследование влияния методов предобработки микрокристаллической целлюлозы и условий ее ферментативного гидролиза на выход редуцирующих веществ / Я. А. Масютин, Е. Ю. Ван, М. А. Смага [и др.] // Вестник КузГТУ. – 2022. – № 1(149). – С. 44-55.

71. Матвеева, Ю. П. Распространенность дефицита макро - и микроэлементов у жителей северных территорий / Ю. П. Матвеева, О. В. Жукова, Д. В. Варганова, И. А. Виноградова // Непрерывное фармацевтическое образование - формирование индивидуальной профессиональной траектории : Материалы Всероссийской конференции, Петрозаводск, 24–26 апреля 2022 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет. – 2022. – С. 42-43.

72. Москвичев, А. С. Применение овощной муки при производстве безглютеновых хлебобулочных изделий / А. С. Москвичев, Е. В. Москвичева, И. А. Тимошенкова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. – № 5-1(119). – С. 84-88.

73. Мочалова, А. Е. Привитые и блок-сополимеры виниловых мономеров и хитозана, наноккомпозиты на его основе. Синтез, структура и функциональные свойства: специальность 02.00.06 Высокомолекулярные соединения: дис. ...на соиск. учен. степ. д-ра хим. наук / А. Е. Мочалова – Волгоград, 2017. – 216 с.

74. Мочалова, Е. М. Иммобилизация клеток нитрилгидролизующих бактерий *Rhodococcus erythropolis* 4-1 и *Alcaligenes faecalis* 2 с использованием термотропных и ионотропных гелей / Е. М. Мочалова, Ю. Г. Максимова // Вестник ПГУ. Биология. – 2020. – №1. – С. 26-32.

75. Мусабеков, К. Б. Иммобилизация рихлокаина в альгинате кальция / К. Б. Мусабеков, Г. С. Рахымбай, К. Б. Мусабеков, К. Ж. Елемесова, С. М. Тажибаева // Вестник Казахстанско-Британского технического университета. – 2020. – № 17(2). – С. 101-106.

76. Налетов, А. В. Йодная обеспеченность населения: современный взгляд на проблему / А. В. Налетов, А. Н. Мацынин, Р. Ф. Махмутов // Health, Food & Biotechnology. – 2023. – №1. – URL: <https://www.hfb-mgupp.com/jour/article/view/157> (дата обращения: 04.06.2024). – Текст: электронный.

77. Натареев, С. В. Ионообменная очистка воды от ионов тяжелых металлов на сорбенте из растительного сырья / С. В. Натареев, А. А. Рябиков, А.

А. Быков, С. А. Сырбу // Современные проблемы гражданской защиты. – 2023. – № 3(48). – С. 100-105.

78. Натареев, С. В. Получение сорбента из биополимеров и его применение в системах водоснабжения в чрезвычайных ситуациях / С. В. Натареев, Д. Е. Захаров, А. Ю. Семенов, Н. Ю. Аксюкова // Современные проблемы гражданской защиты. – 2022. – №2(43). – С. 123-130.

79. Никанов, А. Н. Экологические аспекты накопления минеральных элементов в организме населения, проживающего в районах интенсивной промышленной деятельности в европейской части Арктической зоны России : монография / А. Н. Никанов, В. М. Дорофеев, В. В. Мегорский, В. К. Жиров. - Апатиты: Издательство ФИЦ КНЦ РАН, 2020. – 87 с.

80. Николаев, А. А. Комплексы хитозана с катионами некоторых биометаллов / А. А. Николаев, А. А. Годзишевская, М. Н. Курасова, А. С. Критченков // Достижения современной науки: биотехнология, химия и фармация (БТХФ-2023) : Сборник материалов I Всероссийской научно-практической конференции, Симферополь, 25–27 октября 2023 года. – Симферополь: [б.и.], 2023. – С. 142-143.

81. Нургалеев, Р. Н. Обзор трендов развития хлебопекарной отрасли / Р. Н. Нургалеев, Т. В. Матягина // Инновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых : сборник научных статей 4-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок, Курск, 01 декабря 2023 года. – Курск: ЗАО «Университетская книга», 2023. – С. 185-187.

82. Ослина, А. Н. Ключевые показатели стоматологического здоровья и элементный статус подростков, проживающих на территории Ямала / А. Н. Ослина, М. О. Нагаева, В. В. Колпаков // Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. – 2022. – № 19(2). – С. 59-63.

83. ОФС.1.2.1.0005.15 Растворимость - Фармакопейный комитет Минздрава РФ, 2023. – 4 с.

84. ОФС.1.7.2.0008.15 Определение концентрации микробных клеток - Государственная фармакопея Российской Федерации XIV издания, 2018. - 13 с.

85. Охота, Е. В. Обоснование возможности использования отходов переработки трепанга для производства безалкогольных напитков / Е. В. Охота, А. И. Чепкасова, Е. П. Караулова, Т. Н. Слущкая // Известия ТИНРО. – 2020. – № 200(1). – С. 221-228.

86. Панкова, С. М. Гели хитозана и его производных как фотопротекторы для коллагеназы из *Clostridium histolyticum* / С. М. Панкова, М. Г. Холявка, Д. Е. Шевцов, В. Г. Артюхов // КоМУ-2022 : Материалы XIV Всероссийской школы-конференции молодых учёных с международным участием, Ижевск, 05–09 декабря 2022 года. – Ижевск: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки "Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук", 2022. – С. 202-203.

87. Патент № 2172325 С2 Российская Федерация, МПК С08В 37/08, А61К 31/722, А23L 1/056. Способ получения субстанции на основе хитозана для пищевой и фармацевтической промышленности: № 97121258/13: заявл. 18.12.1997: опубл. 20.08.2001 / С. П. Маев. – 11 с.

88. Патент № 2229251 С2 Российская Федерация, МПК А23Р 1/00, А23L 1/29, А23L 1/30. Способ получения иммобилизованной композиции функционального пищевого пробиотического желированного продукта, иммобилизованная композиция и функциональный продукт ее содержащий: № 2002132372/13: заявл. 04.12.2002: опубл. 27.05.2004 / Н. В. Нефедова, Г. В. Семенов, Е. Н. Ефременко, Т. А. Махлис; заявитель Московский государственный университет прикладной биотехнологии, Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова. – 12 с.

89. Патент № 2253677 С2 Российская Федерация, МПК С12N 11/04, С12Р 7/56. Иммобилизованный биокатализатор, способ его получения и способ получения молочной кислоты с использованием этого биокатализатора: № 2002126236/13 : заявл. 02.10.2002: опубл. 10.06.2005 / Е. Н. Ефременко, О. В. Спиричева, С. Д. Варфоломеев [и др.]; заявитель Институт элементоорганических соединений им. А.Н. Несмеянова РАН (ИНЭОС РАН), Химический факультет МГУ (Химфак МГУ), Федеральное Государственное Унитарное предприятие

Институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов (ФГУП ГосНИИГенетика). – 14 с.

90. Патент № 2405827 С2 Российская Федерация, МПК С12Р 7/00. способ получения органических растворителей: № 2009106235/10: заявл. 25.02.2009: опубл. 10.12.2010 / Е. Р. Давидов, П. С. Каныгин, О. А. Фракин, И. В. Черемнов; заявитель Дэвон Инвестмент Лимитед. – 10 с.

91. Патент № 2425879 С1 Российская Федерация, МПК С12N 11/14, С07В 43/04. Способ получения поверхностно-модифицированных наночастиц для иммобилизации биологических веществ: № 2010105590/10: заявл. 16.02.2010: опубл. 10.08.2011 / А. Ю. Просеков, Л. С. Солдатова, О. О. Бабич; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кемеровский технологический институт пищевой промышленности". – 7 с.

92. Патент № 2435849 С2 Российская Федерация, МПК С12N 11/02, С12Р 1/04. способ иммобилизации бактериальных клеток: № 2009137980/10: заявл. 14.10.2009: опубл. 10.12.2011 / О. С. Корнеева, О. Ю. Божко, В. А. Кузнецов; заявитель Закрытое акционерное общество "Воронежский инновационно-технологический центр" (ЗАО "Воронежский инновационно-технологический центр"), Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство образования и науки РФ. – 4 с.

93. Патент № 2440010 С2 Российская Федерация, МПК А23L 1/105, А23L 1/30, А23L 1/308. Предварительно ферментированная симбиотическая матрица на основе суспензии зернового продукта, полученной с помощью иммобилизованных клеток микроорганизмов, и инкапсулированных пробиотиков - продукт и способ его получения: № 2009114987/13: заявл. 04.10.2007: опубл. 20.01.2012 / Х. М. Патрисью Де Оливейра Фернандес Инасьо, М. И. Морейра Да Коста Франко, Ф. Ш. Дельгадо Домингос Антунес Мальката, А. М. Перейра Гомес; заявитель Эскола Супериор де Биотекнология. – 13 с.

94. Патент № 2460790 С2 Российская Федерация, МПК С12N 11/14, С12N 9/88. Способ иммобилизации L-фенилаланин-аммоний-лиазы на магнитных

наночастицах: № 2010127878/10 : заявл. 06.07.2010: опубл. 10.09.2012 / О. О. Бабич, Л. С. Солдатова, А. Ю. Просеков; заявитель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кемеровский технологический институт пищевой промышленности". – 9 с.

95. Патент № 2569087 С2 Российская Федерация, МПК А24В 15/30, А24Д 3/14, А24Д 1/00. Иммобилизация и регулируемое высвобождение ароматизатора супрамолекулярным комплексом: № 2012145467/05: заявл. 28.03.2011: опубл. 20.11.2015 / М. К. Мишра, Б. Дуань, П. Д. Липович, У. Р. Суини; заявитель Филип Моррис Продактс С.А. – 17 с.

96. Патент № 2712690 С1 Российская Федерация, МПК С12N 11/04, С12N 11/10. Способ получения препарата папаина в геле на основе пищевого хитозана и сукцината хитозана: № 2019106572: заявл. 07.03.2019: опубл. 30.01.2020 / М. Г. Холявка, С. С. Олышанникова, В. Г. Артюхов; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный университет" (ФГБОУ ВО "ВГУ"). – 9 с.

97. Патент № 2713295 С2 Российская Федерация, МПК С08В 37/00. Способ сшивания полисахаридов при помощи фотоудаляемых защитных групп: № 2017146010: заявл. 14.06.2016: опубл. 04.02.2020 / Т. Бобула, Р. Буффа, П. Прочазкова, В. Велебний. – 26 с.

98. Патент № 2733129 С2 Российская Федерация, МПК А23J 3/16, А23J 1/14. Получение соевых белковых продуктов ("S810"): № 2017109727: заявл. 27.08.2015: опубл. 29.09.2020 / Б. И. Грин, К. И. Сигалл, М. Швайцер. – 41 с.

99. Патент № 2740140 С1 Российская Федерация, МПК А61К 35/66, С12N 11/14. Способ получения и композиция для повышения эффективности пробиотических микроорганизмов: № 2020123100: заявл. 13.07.2020: опубл. 11.01.2021 / Б. А. Кареткин, Д. В. Савельев, Е. П. Лоссь, Е. А. Терешкова; заявитель Общество с ограниченной ответственностью "АВАН". – 14 с.

100. Патент № 2754927 С1 Российская Федерация, МПК С12N 11/00, С12N 1/00. Способ иммобилизации микроорганизмов на монтмориллонитовые глины: № 2020143507: заявл. 28.12.2020: опубл. 08.09.2021 / Г. М. Шайдорова, У. А.

Круть, А. И. Радченко, Е. В. Кузубова; заявитель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Белгородский государственный национальный исследовательский университет". – 9 с.

101. Петрова, П. Г. Микроэлементный статус жителей вилуйского региона / П. Г. Петрова, Н. В. Борисова // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. – 2022. – № 4. – С. 600-609.

102. Побилат, А. Е. Особенности элементного статуса коренного населения юга Средней Сибири / А. Е. Побилат, А. А. Киричук, О. В. Баранова // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2024. – № 2. – С. 163-171.

103. Побилат, А. Е. Сравнительный анализ элементного статуса коренного населения юга средней Сибири и центральной России / А. Е. Побилат, А. А. Киричук, О. В. Баранова // Проблемы региональной экологии. – 2023. – № 5. – С. 5-10.

104. Полещук, А. Е. Обеспечение защищенности населения, в том числе специалистов службы МЧС, в районах, относящихся к зонам экологического бедствия в результате загрязнения ртутью / А. Е. Полещук, Е. Д. Целых, М. Х. Ахтямов // Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси. – 2023. – № 7(4). – С. 415-425.

105. Полковникова, Ю. А. Современные исследования в области микрокапсулирования (обзор) / Ю. А. Полковникова, Н. А. Ковалёва // Разработка и регистрация лекарственных средств. – 2021. – № 10(2). – С. 50-61.

106. Полосина, Е. И. Повышение пищевой ценности пшеничного хлеба путем внесения функциональных добавок / Е. И. Полосина, Д. И. Фролов // Инновационная техника и технология. – 2023. – № 10(4). – С. 27-31.

107. Пономарева, Е. И. Практикум по технологии отрасли (технология хлебобулочных изделий) : учебное пособие / Е. И. Пономарева, С. И. Лукина, Н. Н. Алехина [и др.]. - СПб.: Лань, 2017. – 318 с.

108. Попова, Е. Н. Роль витаминов и микроэлементов в профилактике и лечении бронхолегочных заболеваний у взрослых / Е. Н. Попова, М. И. Митькина,

А. А. Чинова, Л. А. Пономарева // Клинический разбор в общей медицине. – 2023. – № 4(2). – С. 36-42.

109. Потеемина, Т. Е. Общие вопросы метаболизма железа и патогенеза железодефицитной анемии / Т. Е. Потеемина, С. А. Волкова, С. В. Кузнецова, А. В. Перешейн // Вестник медицинского института «Реавиз»: реабилитация, врач и здоровье. – 2020. – № 3(45). – С. 125-137.

110. Потороко, И. Ю. Выявление наиболее эффективных параметров проращивания зерна пшеницы / И. Ю. Потороко, А. А. Фильков, Е. А. Титова, Е. Е. Науменко // Пища. Экология. Качество : Труды XVIII Международной научно-практической конференции, Краснообск, 18–19 ноября 2021 года. – Краснообск: Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН. – 2021. – С. 506-509.

111. Потороко, И. Ю. Отходы пищевых производств как возобновляемые источники энергии: перспективность и технологические решения / И. Ю. Потороко, Л. А. Цирульниченко, Н. В. Попова, М. С. Венката // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. – 2021. – №2. – С. 16-25.

112. Протопопов, А. В. Изучение взаимодействия целлюлозы с карбамидом / А. В. Протопопов, Т. В. Никитина, А. И. Шалимова // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья : Материалы VIII Всероссийской конференции с международным участием, Барнаул, 05–09 октября 2020 года / Под редакцией Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. – Барнаул: Алтайский государственный университет, 2020. – С. 241-242.

113. Путилина, Л. Н. Влияние внекорневых подкормок и основной обработки почвы на технологическое качество современных гибридов сахарной свёклы / Л. Н. Путилина, П. А. Косякин // Сахар. – 2021. – №1. – С. 28-32.

114. Рекомендации по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания. Утверждены приказом Минздрава России от 19 августа 2016. [Электронный

ресурс] - URL: <https://docs.cntd.ru/document/420374878> (дата обращения: 20.09.2024).

115. Рудакова, Л. В. Перспективы применения биологически активных добавок из съедобных насекомых в России / Л. В. Рудакова, О. Б. Рудаков // Прикладные информационные аспекты медицины. – 2022. – № 25(3). – С. 85-90.

116. Русяева, М. Л. Изучение влияния солей цинка на рост пробиотических, патогенных и условно-патогенных штаммов микроорганизмов / М. Л. Русяева, Е. С. Филончикова, Я. А. Сизенцов // Научное обозрение. Педагогические науки. – 2019. – № 5(2). – С. 79-82.

117. Савицкая, Т. А. Композиты целлюлоза–хитозан: тенденции развития новых технологий и перспективы их внедрения // Полимерные материалы и технологии. 2022. Т. 8, № 2. С. 59–71.

118. Савко, С. А. Оригинальная статья элементный статус взрослого мужского населения сахалинской области и республики Саха (Якутия) / С. А. Савко, А. П. Гончаров, А. А. Лобанов // Микроэлементы в медицине/ Trace Elements In Medicine. – 2022. – № 23(4). – С. 37-45.

119. Садикова, Г. И. Использование хитозана при депонировании хлебопекарных дрожжей / Г. И. Садикова, И. Д. Гурьянов, С. В. Борисова // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 16. – С. 155-157.

120. Саенко, И. И. Анализ конкурентоспособности предприятий хлебопромышленной отрасли России / И. И. Саенко, С. А. Дьяков, А. С. Маликов // Естественно-гуманитарные исследования. – 2022. – № 40(2). – С. 243-250.

121. Сарницкая, Д. А. Особенности ассортимента хлебобулочных изделий с функциональными ингредиентами / Д. А. Сарницкая, Н. А. Сарницкая, А. М. Усубян // Студенческая наука: актуальные вопросы, достижения и инновации : сборник статей II Международной научно-практической конференции, Пенза, 10 июня 2021 года. – Пенза: Наука и Просвещение. – 2021. – С. 87-89.

122. Свалова, Т. С. Основы конструирования биосенсоров : учебное пособие / Т. С. Свалова, Н. Н. Малышева, М. В. Медведева, А. В. Охохонин, А. Н.

Козицина, С. Ю. Сараева. - Екатеринбург : Издательство Уральского университета, 2024. – 132 с.

123. Севостьянова, О. И. Перспективы использования хитозана в отраслях агропромышленного сектора / О. И. Севостьянова, Д. Ю. Диденко, Е. В. Демидова // Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2023. – № 2(50). – С. 8-12.

124. Семенова, А. Н. Влияние хитозана на цветовые характеристики хлебобулочных изделий на основе замороженных полуфабрикатов / А. Н. Семенова, С. В. Китаевская // Новые концептуальные подходы к решению глобальной проблемы обеспечения продовольственной безопасности в современных условиях : сборник статей VI Международной научно-практической конференции, Курск, 15 ноября 2019 года. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2019. – С. 262-265.

125. Семенова, А. Н. Разработка рецептуры пшеничного хлеба на основе замороженных полуфабрикатов с хитозаном / А. Н. Семенова, С. В. Китаевская // Инновационные технологии пищевых производств : сборник тезисов докладов II Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Севастополь, 12–13 декабря 2019 года / Под ред. Н.И. Покинтелицы, Ю.О. Веляева. – Севастополь: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Севастопольский государственный университет", 2020. – С. 76-78.

126. Синдирева, А. В. Оценка содержания селена в волосах жителей города тюмени / А. В. Синдирева, А. В. Хренова // Экология урбанизированных территорий. – 2023. – № 4. – С. 58-65.

127. Скальный, А. В. Значение коррекции дефицита цинка в практической медицине: обзор / А. В. Скальный, Т. И. Сотникова, Т. В. Коробейникова, А. А. Тиньков. // Сеченовский вестник. – 2022. – № 13(4). – С. 4-17.

128. Скальный, А. В. Химические элементы в физиологии и экологии человека / А. В. Скальный. - М.: Мир, 2004. – 215 с.

129. Скурихин, И. М. Все о пище с точки зрения химика: справ. / И. М. Скурихин, А. П. Нечаев. - М.: Высшая школа, 1991. – 288 с.

130. Скурихин, И. М. Химический состав российских пищевых продуктов : Справочник / И. М. Скурихин, В. А. Тутельян. - М.: ДеЛи принт, 2002. – 235 с.
131. Слепокурова, Ю. И. Особенности развития рынка функциональных хлебобулочных изделий / Ю. И. Слепокурова, И. М. Жаркова, Ю. К. Казимирова [и др.] // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2020. – № 1(373). – С. 102-105.
132. Соболев, Н. А. Исследование содержания токсичных и эссенциальных микроэлементов в биологических жидкостях населения НАО / Н. А. Соболев, А. Е. Кошелева, Н. И. Белова [и др.] // Биомониторинг в Арктике : Сборник тезисов докладов участников международной конференции, Архангельск, 27–28 октября 2020 года. – Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова. – 2020. – С. 53-57.
133. Степанова, Е. М. Содержание химических элементов в биосредах организма юношей - жителей крайнего севера - на фоне повышенных физических нагрузок / Е. М. Степанова, Е. А. Луговая // Экология человека. – 2022. – № 10. – С. 708-718.
134. Строкова, Н. Г. К вопросу о развитии безотходных технологий переработки хитинсодержащего сырья ракообразных в России / Н. Г. Строкова, А. В. Подкорытова // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства : Сборник тезисов докладов участников I Международной научно-практической конференции, Керчь, 14–17 мая 2020 года / Под общей редакцией Е.П. Масюткина. – Керчь: ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет», 2020. – С. 247-249.
135. Сульман, А. М. Иммобилизация глюкозооксидазы на магнитоотделяемых оксидах / А. М. Сульман, О. В. Гребенникова, Е. М. Михайлова [и др.] // Актуальная биотехнология. – 2020. – № 3(34). – С. 330-333.
136. Табакова, Ю. А. Методы иммобилизации β -галактозидаз и их использование в биосинтезе лактулозы / Ю. А. Табакова, С. А. Рябцева, М. А. Шпак, С. Н. Сазанова // Современная наука и инновации. – 2022. – № 4. – С. 68-83.

137. Тиньков, А. А. Сравнительная оценка паттернов кумуляции токсичных и эссенциальных микроэлементов в волосах женщин из городов Тверь, Ярославль и Вологда / А. А. Тиньков, А. Р. Грабеклис, Т. В. Коробейникова [и др.] // Микроэлементы в медицине. – 2023. – № 24(4). – С. 40-51.

138. Ткаченко, А. Г. Перспективы применения коллоидного раствора хитозана при безопасном ускоренном способе производства хлеба / А. Г. Ткаченко, П. П. Климов, И. А. Евдокимов [и др.] // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета. – 2008. – № 3. – С. 67-71.

139. Токарева, Н. И. Технология хлебопекарного производства : практикум / Н. И. Токарева. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2019. – 107 с.

140. ТР ТС 005/2011 «О безопасности упаковки» – Текст: электронный [утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 16 августа 2011 года №769 (с изменениями на 18 октября 2016 года)]. // [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902299529> (дата обращения: 30.08.2024).

141. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции». – Текст: электронный [утвержден решением Комиссии Таможенного союза от 9 декабря 2011 года №880 (с изменениями на 22 апреля 2024 года)]. // [Электронный ресурс] – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 21.08.2024).

142. Третьяк, Л. Н. Роль технико-технологических элементов и метрологических факторов в обеспечении качества обогащенных хлебобулочных изделий / Л. Н. Третьяк, Т. С. Полева // Материалы Международной студенческой научной конференции «студенческий научный форум» : XIII Международная студенческая научная конференция, Москва, 01 декабря 2020 года – 06 2021 года. Том IX. – Москва: Общество С Ограниченной Ответственностью "Евроазиатская Научно-Промышленная Палата", 2021. – С. 93-98.

143. Фоменко, И. А. Дрожжи и ингредиенты на их основе в технологии пищевых продуктов / И. А. Фоменко, Г. М. Керимова // ТППП АПК. – 2021. – №2. – С. 132-138.

144. Хлебникова, В. А. Нетрадиционные компоненты в хлебопечении: проблемы и перспективы / В. А. Хлебникова // Grand Altai Research & Education. – 2024. – № 1(21). – С. 43-56.
145. Холявка, М. Г. Адсорбционная иммобилизация инулиназы из *Aspergillus ficum* и *Kluyveromyces marxianus*: сравнительный аспект. / М. Г. Холявка, М. С. Кондратьев, В. Г. Артюхов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2023. – № 23(4). – С. 578-591.
146. Холявка, М. Г. Изучение *in silico* особенностей и механизмов адсорбции целлюлазы из *Aspergillus niger* на синтетических полимерах. / М. Г. Холявка, Д. Ю. Богомолов, М. А. Албет, В. Г. Артюхов // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2022. – № 22(5). – С. 760-773.
147. Царева, Г. Р. Особенности формирования конкурентной среды предприятия хлебопекарной отрасли / Г. Р. Царева, Н. А. Викторова, И. А. Смирнова // Век качества. – 2020. – № 4. – С. 95-111.
148. Чернявская, Е. Ю. Анализ продовольственной безопасности России в период санкционного воздействия / Е. Ю. Чернявская // Парадигмы управления, экономики и права. – 2024. – № 2(12). – С. 29-44.
149. Шаколо, Т. В. Сравнительная характеристика ассортимента лекарственных средств, медицинских изделий и БАД к пище на основе производных хитозана, зарегистрированных в Республике Беларусь, Российской Федерации, Украине и Республике Казахстан / Т. В. Шаколо, О. В. Курлюк, А. И. Калинова // Вестник фармации. – 2021. – № 2(92). – С. 39-47.
150. Шантырь, И. И. Обеспеченность эссенциальными биоэлементами организма взрослого населения г. Санкт-Петербурга / И. И. Шантырь, М. В. Яковлева, М. А. Власенко [и др.] // University Therapeutic Journal. – 2024. – № 6(3). – С. 105-115.
151. Шахрай, Т. А. Основные тенденции развития рынка функциональных хлебобулочных изделий / Т. А. Шахрай, О. В. Воробьева, Е. П. Викторова // Новые технологии. – 2021. – № 17(3). – С. 51-58.

152. Юраскина, Т. В. Биотехнологические пути устранения микронутриентной недостаточности / Т. В. Юраскина, Е. Н. Соколова, Е. Р. Крючкова [и др.] // Пищевая промышленность. – 2023. – № 5. – С. 51-54.
153. Яркулов, А. Ю. Адсорбция ионов тяжелых металлов гибридными нанокomпозиционными материалами диацетатцеллюлоза-кремнезем / А. Ю. Яркулов, Б. У. Сагдуллаев, З. А. Сманова, Х. И. Акбаров // Universum: химия и биология. – 2020. – № 3-2(69). – С. 48-53.
154. Aghalari, Z. Evaluation of nutrients in bread: a systematic review. / Z. Aghalari, H. U. Dahms, M. Sillanpää // J Health Popul Nutr. – 2022. – Vol. 41, No. 50. – URL: <https://jhpnp.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41043-022-00329-3> (дата обращения: 28.07.2024). – Текст: электронный.
155. Akhtar, S. Effect of fortification on physico-chemical and microbiological stability of whole wheat flour / S. Akhtar, F. M. Anjum, S. Rehman // Food Chemistry. – 2008. – Vol. 110, No. 1. – P. 113-119.
156. Alao, R. Economic inequality in malnutrition: a global systematic review and meta-analysis / R. Alao, H. Nur, E. Fivian [et al.] // BMJ Global Health. – 2021. – Vol. 6. – URL: <https://gh.bmj.com/content/6/12/e006906> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.
157. Anitha, S. Can Feeding a Millet-Based Diet Improve the Growth of Children?-A Systematic Review and Meta-Analysis / S. Anitha, D.I. Givens, K. Subramaniam [et al.] // Nutrients. – 2022. – Vol. 14. – URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/14/1/225> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.
158. Aranaz, I. Chitosan: An Overview of Its Properties and Applications / I. Aranaz, A. R. Alcántara, M. C. Civera, C. Arias [et al.] // Polymers. – 2021. – Vol. 13. – URL: <https://www.mdpi.com/2073-4360/13/19/3256> (дата обращения: 11.08.2024). – Текст: электронный.
159. Aswini, Y. B. Fluoride and Other Trace Elements in Dental Hard Tissue / Y. B. Aswini, V. Mohanty, K. Rijhwani // Human Tooth and Developmental Dental Defects-Compositional and Genetic Implications. – 2020. – URL:

<https://www.intechopen.com/chapters/80264> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

160. Bamji, M. S. Nutritionally sensitive agriculture-an approach to reducing hidden hunger / M. S. Bamji, P. V. V. S. Murty, P. D. Sudhir // *Eur J Clin Nutr.* – 2021. – Vol. 75. – P. 1001-1009.

161. Bell, Z. Associations between food insecurity in high-income countries and pregnancy outcomes: A systematic review and meta-analysis / Z. Bell, G. Nguyen, G. Andreae, S. Scott // *PLoS Med.* – 2024. – Vol. 21, No. 9. – URL: <https://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.1004450> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

162. Beltrán, S. Food insecurity and hypertension: A systematic review and meta-analysis / S. Beltrán, M. Pharel, C.T. Montgomery [et al.] // *PLoS One.* – 2020. – Vol. 15, No. 11. – URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0241628> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

163. Berger, M. M. Strengthening the immunity of the Swiss population with micronutrients: A narrative review and call for action / M. M. Berger, I. Herter-Aeberli, M. B. Zimmermann [et al.] // *Clinical Nutrition ESPEN.* – 2021. – Vol. 43. – P. 39-48.

164. Bodnár, M. Synthesis of Galacto-oligosaccharides in Milk by Using *Bifidobacterium bifidum* β -galactosidases (Saphera 2600L and Nola Fit 5500) Immobilized on Chitosan Beads / M. Bodnár, E. Fazekas, T. Nagy [et al.] // *Food Bioprocess Technol.* – 2024. – Vol. 17. – P. 1-20.

165. Bredariol, P. The effect of baking conditions on protein digestibility, mineral and oxalate content of wheat breads / P. Bredariol, R. A. Carvalho, F. M. Vanin // *Food Chem.* – 2020. – Vol. 332. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620312619?via%3Dihub> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.

166. Cappelli, A. Challenges and Opportunities in Wheat Flour, Pasta, Bread, and Bakery Product Production Chains: A Systematic Review of Innovations and Improvement Strategies to Increase Sustainability, Productivity, and Product Quality /

A. Cappelli, E. Cini // Sustainability. – 2021. – Vol. 13. – URL: <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2608> (дата обращения: 06.06.2024). – Текст: электронный.

167. Dhaliwal, S. S. Biofortification - A Frontier Novel Approach to Enrich Micronutrients in Field Crops to Encounter the Nutritional Security / S. S. Dhaliwal, V. Sharma, A. K. Shukla, V. Verma [et al.] // Molecules. – 2022. – Vol. 27 – URL: <https://www.mdpi.com/1420-3049/27/4/1340> (дата обращения: 05.06.2024). – Текст: электронный.

168. Doggui, R. Meta-Analysis and Systematic Review of Micro- and Macro-Nutrient Intakes and Trajectories of Macro-Nutrient Supply in the Eastern Mediterranean Region / R. Doggui, H. Al-Jawaldeh, J. El Ati, R. Barham [et al.] // Nutrients. – 2021. – Vol. 13, No. 5. – URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/13/5/1515> (дата обращения: 16.05.2024). – Текст: электронный.

169. El Hosry, L. Sample Preparation and Analytical Techniques in the Determination of Trace Elements in Food: A Review. / L. El Hosry, N. Sok, R. Richa, L. Al Mashtoub [et al.] // Foods. – 2023. – Vol. 12, No. 4. – URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/4/895> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.

170. Elizabeth, G. J. Micronutrient Hunger or Hidden Hunger Among Infants and Young Children on Healthy Diets / G.J. Elizabeth, G. Koshy // Nestle Nutr Inst Workshop Ser. – 2024. – Vol. 100. – P. 111-124.

171. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2022. The State of Food Security and Nutrition in the World 2022. Repurposing food and agricultural policies to make healthy diets more affordable. Rome, FAO. [Электронный ресурс] - URL: <https://openknowledge.fao.org/items/c0239a36-7f34-4170-87f7-2fcc179ef064> (дата обращения: 27.09.2024).

172. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2023. The State of Food Security and Nutrition in the World 2023. Urbanization, agrifood systems transformation and healthy diets across the rural–urban continuum. Rome, FAO. [Электронный ресурс] -

URL: <https://openknowledge.fao.org/items/445c9d27-b396-4126-96c9-50b335364d01>
(дата обращения: 27.09.2024).

173. FAO, IFAD, UNICEF, WFP and WHO. 2024. The State of Food Security and Nutrition in the World 2024 – Financing to end hunger, food insecurity and malnutrition in all its forms. Rome, FAO. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.who.int/publications/m/item/the-state-of-food-security-and-nutrition-in-the-world-2024> (дата обращения: 27.09.2024).

174. Garg, M. Vitamins in Cereals: A Critical Review of Content, Health Effects, Processing Losses, Bioaccessibility, Fortification, and Biofortification Strategies for Their Improvement / M. Garg, A. Sharma, S. Vats, V. Tiwari [et al.] // Front. Nutr. – 2021. – Vol. 8. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2021.586815/full> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.

175. Getachew, M. K. Systematic Review and Meta-Analysis on Sustainable Healthy Diet in Ethiopia: Dietary Pattern and Gap / M. K. Getachew, T. Masresha, A. B. Weldesilassie // PSI Working Paper 30. – 2023. – URL: <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/items/677a9dfb-fc53-4b37-aa5e-6cc5bbf528f4> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.

176. Ghoshal, G., Effect of chitosan on physicochemical and rheological attributes of bread / G. Ghoshal, S. Mehta // Food Science and Technology International. –2019. –Vol. 25, No. 3. – P. 198-211.

177. Gromadzka, G. Copper Dyshomeostasis in Neurodegenerative Diseases—Therapeutic Implications / G. Gromadzka, B. Tarnacka, A. Flaga, A. Adamczyk // Int. J. Mol. Sci. – 2020. – Vol. 21. – URL: <https://www.mdpi.com/1422-0067/21/23/9259> (дата обращения: 07.06.2024). – Текст: электронный.

178. Horvath-Szanics, E. Study of chitinase and chitinolytic activity of lactobacillus strains / E. Horvath-Szanics, J. Perjéssy, A. Klupács [et al.] // Acta Alimentaria. – Vol. 49, No. 2. – P. 214-224.

179. Hoda, S. E. Novel approach for biosynthesizing of zinc oxide nanoparticles using *Lactobacillus gasseri* and their influence on microbiological, chemical, sensory

properties of integrated yogurt, / S. E. Hoda, M. E. Samah, M. Y. Ahmed // Food Chemistry, – 2021. – Vol. 365. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814621015193?via%3Dihub> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.

180. Hamid, R. Chitinases: An update. / R. Hamid, M. A. Khan, M. Ahmad [et al.] // Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences. – 2013. – Vol. 5, No. 1 – P. 21-29.

181. Jomova, K. Essential metals in health and disease / K. Jomova, M. Makova, S.Y. Alomar, S.H. Alwasel [et al.] / Chem Biol Interact. – 2022. – Vol. 367. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009279722003787> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

182. Kerch, G. Effect of chitosan on physical and chemical processes during bread baking and staling / G. Kerch, F. Rustichelli, P. Ausili [et al.] // European Food Research and Technology. – 2008. – Vol. 228. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00217-007-0677-x#citeas> (дата обращения: 24.03.2025). – Текст: электронный.

183. Korobitsyna, R. Iodine Status of 6–12-Year-Old Children in Russia over the Past 10 Years: A Scoping Review / R. Korobitsyna, A. Aksenov, T. Sorokina [et al.] // Nutrients. – 2022. – Vol. 14 – URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/14/4/897> (дата обращения: 04.06.2024). – Текст: электронный.

184. Kou, S. G. Chitosan: A review of sources and preparation methods / S. G. Kou, L. M. Peters, M. R. Mucalo // International Journal of Biological Macromolecules. – 2021. – Vol. 169. – P. 85-94.

185. Kumar, A. Tackling Hidden Hunger: Understanding Micronutrient Deficiency and Effective Mitigation Strategies. (eds) Emerging Solutions in Sustainable Food and Nutrition Security / A. Kumar, A. Kerketta, S. Dewali [et al.] // Springer Cham. – 2023. – P. 305-319.

186. Leonardi, A. Zinc Uptake by Lactic Acid Bacteria / A. Leonardi, S. Zanoni, L. De [et al.] // International Scholarly Research Notices. – 2013. – Vol. 2013. – URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.5402/2013/312917> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

187. Lowe, N. M. The global challenge of hidden hunger: perspectives from the field / N. M. Lowe // *Proceedings of the Nutrition Society*. – 2021. – Vol. 80, No. 3. – P. 283-289.

188. Luís, I. C. Zinc Enrichment in Two Contrasting Genotypes of *Triticum aestivum* L. Grains: Interactions between Edaphic Conditions and Foliar Fertilizers / I. C. Luís, F. C. Lidon, C. C. Pessoa, A. C. Marques [et al.] // *Plants*. – 2021. – Vol. 10, No. 2 – URL: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/2/204> (дата обращения: 07.06.2024). – Текст: электронный.

189. Mehri, A. Trace Elements in Human Nutrition (II) – An Update / A. Mehri // *International Journal of Preventive Medicine*. – 2020. – Vol. 11, No. 1. – URL: https://journals.lww.com/ijom/fulltext/2020/11000/trace_elements_in_human_nutrition__ii__an_update. (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

190. Mesta-Corral, M. Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An Overview of Current Status and Future Challenges / M. Mesta-Corral, R. Gómez-García, N. Balagurusamy [et al.] // *Foods*. – 2024. – Vol. 13. – URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/13/13/2062> (дата обращения: 07.06.2024). – Текст: электронный.

191. Muntean, E. Effect of Thermal Processing on Carotenoids in Fortified Bread. / E. Muntean // *Eng. Proc.* – 2023. – Vol. 37, No. 1. – URL: <https://www.mdpi.com/2673-4591/37/1/70> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.

192. Mutambu, D. Maize grain yield and grain zinc concentration response to zinc fertilization: A meta-analysis / D. Mutambu, J. Kihara, M. Mucheru-Muna [et al.] // *Heliyon*. – 2023. – Vol. 9. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37215922> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

193. Neyestani, M. The Effect of Food processing On the Amount of Trace and Their Bioavailability: A Review / M. Neyestani, P. G. Shavali, M. Fesahat [et al.] // *J Food Safe & Hyg.* – 2020. – Vol. 6, No. 2. – P. 53-66.

194. Nielsen, F. H. Manganese, molybdenum, boron, silicon, and other trace elements / F. H. Nielsen // *Present knowledge in nutrition*. – 2020. – Vol. 1. – P. 485-500.
195. Ofori, K. Improving nutrition through biofortification—A systematic review / K. F. Ofori, S. Antonello, M. M. English, A. N. A. Aryee // *Front. Nutr.* – 2022. – Vol. 9. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/nutrition/articles/10.3389/fnut.2022.1043655/full> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.
196. Paiva, S. K. Modifying alcalase activity and stability by immobilization onto chitosan aiming at the production of bioactive peptides by hydrolysis of tilapia skin gelatin / S. K. Paiva, C. Mellinger-Silva, S. B. A. Iraidy, B. G. L. Rocha // *Process Biochemistry*. – 2020. – Vol. 97. – P. 27-36.
197. Prasanna, B. M. Molecular Breeding for Nutritionally Enriched Maize: Status and Prospects / B. M. Prasanna, N. Palacios-Rojas, F. Hossain, V. Muthusamy [et al] // *Front Genet.* – 2020. – Vol. 21, No. 10. – URL: <https://www.frontiersin.org/journals/genetics/articles/10.3389/fgene.2019.01392/full> (дата обращения: 05.06.2024). – Текст: электронный.
198. Rafiee, F. Different strategies for the lipase immobilization on the chitosan based supports and their applications / F. Rafiee, M. Rezaee // *International Journal of Biological Macromolecules*. – 2021. – Vol. 179. – P. 170-195.
199. Rakesh, K. G. Natural polymers in bio-degradable/edible film: A review on environmental concerns, cold plasma technology and nanotechnology application on food packaging- A recent trends / K. G. Rakesh, G. Proshanta, P. S. Prem // *Food Chemistry Advances*. – 2022. – Vol. 1. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772753X2200123X> (дата обращения: 11.08.2024). – Текст: электронный.
200. Rodd, B. G. Dysphagia, texture modification, the elderly and micronutrient deficiency: a review / B. G. Rodd, A. A. Tas, K. D. A. Taylor // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2021. – Vol. 62. – P. 7354–7369.

201. Shariatipour, N. Meta-analysis of QTLome for grain zinc and iron contents in wheat (*Triticum aestivum* L.) / N. Shariatipour, B. Heidari, C.M. Richards // *Euphytica*. – 2021. – Vol. 217, No. 86. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10681-021-02818-8#author-information> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.
202. Sharif, M. K. Enrichment and Fortification of Traditional Foods with Plant Protein Isolates / M. K. Sharif, H. R. Saleem, H. R. Sharif, R. Saleem // *Plant Protein Foods*. Springer Cham. – 2022. – P. 131-169.
203. Sheykhi, F. The effect of different concentrations of organic and inorganic zinc on the growth and zinc content in yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). / F. Sheykhi, N. Ahmadifard, N. Samadi, K. Nematzadeh // *Journal of Microbial Biology*. – 2018. — Vol. 7, No. 28. – P. 103-109.
204. Sobolev, N. Essential and non-essential elements in biological samples of inhabitants residing in Nenets Autonomous Okrug of the Russian Arctic / N. Sobolev, D. G. Ellingsen, N. Belova, A. Aksenov [et al.] // *Environment international*. – 2021. – Vol. 150. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412021001355?via%3Dihub> (дата обращения: 02.06.2024). – Текст: электронный.
205. Sorokina, T. Diet and Blood Concentrations of Essential and Non-Essential Elements among Rural Residents in Arctic Russia / T. Sorokina, N. Sobolev, N. Belova, A. Aksenov [et al.] // *Nutrients*. – 2022. – Vol. 14, No. 23. – URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/14/23/5005> (дата обращения: 02.06.2024). – Текст: электронный.
206. Souci, S. W. Food Composition and Nutrition Tables: 7th revised and completed edition / S. W. Souci, W. Fachmann, H. Kraut. - Stuttgart: Medpharm, 2008. – 1300 с.
207. Selvaggini, S. Independent regulation of chitin synthase and chitinase activity in *Candida albicans* and *Saccharomyces cerevisiae* / S. Selvaggini, C. A. Munro, S. Pashoud [et al.] // *Microbiology*. – 2004. – Vol. 150. – P. 921-928.

208. Tan, X. Overnutrition is a risk factor for iron, but not for zinc or vitamin A deficiency in children and young people: a systematic review and meta-analysis / X. Tan, P.Y. Tan, Y.Y. Gong [et al.] // *BMJ Global Health*. – 2024. – Vol. 9. – URL: <https://gh.bmj.com/content/9/4/e015135> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

209. Teasdale, S. B. Prevalence of food insecurity in people with major depression, bipolar disorder, and schizophrenia and related psychoses: A systematic review and meta-analysis / S. B. Teasdale, A. S. Müller-Stierlin, A. Ruusunen, M. Eaton, [et al.] // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2021. – Vol. 63, No. 20. – P. 4485–4502.

210. Tolve, R. Current Advantages in the Application of Microencapsulation in Functional Bread Development / R. Tolve, F. Bianchi, E. Lomuscio [et al.] // *Foods*. – 2023. – Vol. 12, No. 1. – URL: <https://www.mdpi.com/2304-8158/12/1/96> (дата обращения: 28.07.2024). – Текст: электронный.

211. Tugume, P. Unravelling taboos and cultural beliefs associated with hidden hunger among pregnant and breast-feeding women in Buyende district Eastern Uganda / P. Tugume, A. S. Mustafa, A. Walusansa // *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*. – 2024. – Vol. 20. – URL: <https://ethnobiomed.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13002-024-00682-z> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

212. Uwah, E. I. Trace Metals, Potassium Bromate and Nutritional Potentials in Bread from Bakeries in Uyo, Akwa Ibom State, Nigeria / E. I. Uwah, D. I. Ernest // *American Journal of Applied Chemistry* – 2020. – Vol. 8, No. 3. – P. 63-73.

213. Venkatesh, U. Micronutrient's deficiency in India: a systematic review and meta-analysis / U. Venkatesh, A. Sharma, V.A. Ananthan // *Journal of Nutritional Science*. – 2021. – Vol. 10. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35059191> (дата обращения: 15.05.2024). – Текст: электронный.

214. Vural, Z. Trace Mineral Intake and Deficiencies in Older Adults Living in the Community and Institutions: A Systematic Review / Z. Vural, A. Avery, D. I.

Kalogiros [et al.] // *Nutrients*. – 2020. – Vol. 12. – URL: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/4/1072> (дата обращения: 02.06.2024). – Текст: электронный.

215. Wali, N. Hidden hunger and child undernutrition in South Asia: A meta-ethnographic systematic review / N. Wali, K. Agho, A. M. Renzaho // *Asia Pac J Clin Nutr*. – 2022. – Vol. 31, No. 4. – P. 713-739.

216. Weikert, C. Vitamin and Mineral Status in a Vegan Diet / C. Weikert, I. Trefflich, J. Menzel, R. Obeid [et al.] // *Dtsch Arztebl Int*. – 2020. – Vol. 117. – P. 575-582.

217. Xinlai, D. A novel baking additive: Preparation, characterization, and application of chitosan hydrochloride/carboxymethyl starch sodium nano-gel for wheat bread / D. Xinlai, H. Yanling, S. Ying, Y. Pin [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2024. – Vol. 148. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X23010056> (дата обращения: 24.03.2025). – Текст: электронный.

218. Yang, Z. Polyphenol oxidase browning in the formation of dark spots on fresh wet noodle sheets: How dark spots formed, / Z. Yang, Z. Huang, H. Zhou, K. Zhu [et al.] // *Food Chemistry*, – 2020. – Vol. 329. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814620306622?via%3Dihub> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.

219. Yuanxiao, L. Zeyu Jia, Mengmeng L, Ke Bian, Erqi Guan, Wei Huang, Effect of heat-moisture treatment of wheat (*Triticum aestivum* L.) grain on micronutrient content of flour, and noodles and bread qualities, / L. Yuanxiao, J. Zeyu, L. Mengmeng, B. Ke [et al.] // *Journal of Cereal Science*. – 2024. – Vol. 115. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521023002096> (дата обращения: 12.09.2024). – Текст: электронный.

220. Yuan, Y. Associative interactions between chitosan and soy protein fractions: Effects of pH, mixing ratio, heat treatment and ionic strength / Y. Yuan, Z. Wan, X. Yang, Sh. Yin // *Food Research International*. – 2014. – Vol. 55. – P. 207-214.

221. Yuan, Y. Characterization of complexes of soy protein and chitosan heated at low pH/ Y. Yuan, Z. Wan, Sh.Yin [et al.] // LWT - Food Science and Technology. – 2013. – Vol. 50, No. 2. – P. 657-664.

222. Zulfiqar, U. Genetic biofortification: advancing crop nutrition to tackle hidden hunger / U. Zulfiqar, A. Khokhar, M. F. Maqsood [et al.] // Funct Integr Genomics. – 2024. – Vol. 24, No. 10. – P. 34.

223. Zhao. Z, Effect of chitosan on the heat stability of whey protein solution as a function of pH. / Z. Zhao, Q. Xiao // J Sci Food Agric. – 2017. – Vol. 97, No. 5. – URL: <https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/jsfa.7904> (дата обращения: 20.03.2025). – Текст: электронный.

224. Zun, W. Application of cellulose- and chitosan-based edible coatings for quality and safety of deep-fried foods. / W. Zun, K. Ng, R.D. Warner [et al.] // Compr Rev Food Sci Food Saf. – 2023. – Vol. 22, No. 2. – URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36717375> (дата обращения: 20.03.2025). – Текст: электронный.

225. Zhu, Y. The effects of chitosan oligosaccharides on the structure and shelf-life of whole-millet cakes / Y. Zhu, L. Sang, S. Sharafeldin, [et al.] // Food Chemistry. – 2025. – Vol. 466. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0308814624039177> (дата обращения: 20.03.2025). – Текст: электронный.



ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ



ФЕДЕРАЛЬНОЕ КАЗЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ



ВОРОНЕЖСКИЙ ИНСТИТУТ
ФСИН РОССИИ

ДИПЛОМ НАГРАЖДАЕТСЯ

Саргсян Мартин Александрович

Научный руководитель: Белокурова Елена Владимировна
Воронежский государственный университет инженерных технологий

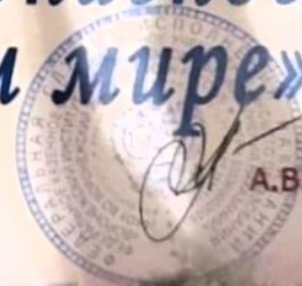
за 2 место

в X Всероссийском конкурсе творческих проектов курсантов,
слушателей и студентов образовательных учреждений высшего
профессионального образования памяти профессора А. Н. Лукина

**«Взгляд молодых
на проблемы безопасности
в современном мире»**

Врио начальника института
полковник внутренней службы

А.В. Луговая



31 мая 2023 года, г. Воронеж



ЗОЛОТАЯ ОСЕНЬ 2023

XXV РОССИЙСКАЯ АГРОПРОМЫШЛЕННАЯ ВЫСТАВКА



ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ
БРОНЗОВОЙ МЕДАЛЬЮ

ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ,
г. Воронеж

За разработку технологии производства обогащенного хлеба

МИНИСТР СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Д.Н. ПАТРУШЕВ

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ**

(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ВЕТЕРИНАРНЫЙ ИНСТИТУТ
ПАТОЛОГИИ, ФАРМАКОЛОГИИ И ТЕРАПИИ»
(ФГБНУ «ВНИИПФит»)

**ОТДЕЛ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ФАРМАКОЛОГИИ И
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЖИВЫХ СИСТЕМ**

ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Заведующий отделом
экспериментальной фармакологии и
функционирования живых систем



Е.В.Михайлов

ВОРОНЕЖ -2024

Исполнители:

Заведующий отделом
экспериментальной фармакологии и
функционирования живых систем



Михайлов Е.В.

М. н. с. лаб. инновационных
препаратов рекомбинантной
протеомики



Шутиков В.А.

М. н. с. лаб доклинических
исследований и моделирования
биологических систем



Шабунин Б.В.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2837403

**Способ получения пищевой композиции для
профилактики дефицита цинка**

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
"Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I" (ФГБОУ ВО Воронежский
ГАУ) (RU)*

Авторы: *Дерканосова Наталья Митрофановна (RU),
Белокурова Елена Владимировна (RU), Саргсян Мартин
Александрович (RU)*

Заявка № 2024119659

Приоритет изобретения 12 июля 2024 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 31 марта 2025 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 12 июля 2044 г.

*Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности*

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ
Сертификат 0692e7c1a6300b154f240f670bca2026
Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**
Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2839957

Способ приготовления обогащенного цинком хлеба

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) (RU)*

Авторы: *Дерканосова Наталья Митрофановна (RU), Белокурова Елена Владимировна (RU), Саргсян Мартин Александрович (RU)*

Заявка № 2024129925

Приоритет изобретения 04 октября 2024 г.

Дата государственной регистрации
в Государственном реестре изобретений
Российской Федерации 14 мая 2025 г.

Срок действия исключительного права
на изобретение истекает 04 октября 2044 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

документ подписан электронной подписью

Сертификат 0692e7c1a6300b154f2401670bca2026

Владелец **Зубов Юрий Сергеевич**

Действителен с 10.07.2024 по 03.10.2025

Ю.С. Зубов



Утверждаю
Председатель комиссии
Директор ООО «Эдди»

Саркисян В.М.
«01» ноября 2024 г.



АКТ

производственных испытаний по выработке
хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка

Комиссия в составе: председателя комиссии Саркисяна В.М., главного технолога Молоторенко Н.Д., технолога Карапетяна В.А., аспиранта кафедры «Товароведения и экспертизы товаров» ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I Саргсяна М.А. провели проверочные производственные испытания приготовления хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка на базе ООО «Эдди».

Для проведения испытаний использовали муку пшеничную хлебопекарную Второго сорта ГОСТ 26574-2017, муку пшеничную хлебопекарную цельнозерновую ГОСТ 26574-2017, дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие ГОСТ Р 54845-2011, соль поваренную пищевую сорта Экстра ГОСТ Р 51574-2018Ю, хитозан пищевой (Декларация ЕАЭС N RU Д-СН.РА01.В.60276/21, производитель «ZHEJIANG AOXING BIOTECHNOLOGY CO., LTD», Китай), сульфат цинка 7-водный ГОСТ 4174-77.

Технологический процесс приготовления хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка осуществляли следующим образом. Подготовка сырья к производству осуществлялась согласно соответствующему разделу «Сборника технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий», «Инструкции по предотвращению попадания посторонних предметов в продукцию хлебопекарного производства» и разделу, регламентирующему требования к обеспечению безопасности пищевой продукции в процессе ее производства ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Подготовленное сырье дозировали вручную в соответствии с рецептурами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Рецепт приготовления хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка.

Наименование сырья	Контроль	Опыт
Мука пшеничная хлебопекарная Второго сорта, кг	50,0	49,8
Мука пшеничная хлебопекарная цельнозерновая, кг	50,0	50,0
Соль поваренная пищевая, кг	1,5	1,5
Дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие, кг	0,5	0,5
Обогащающая композиция из хитозана и цинка, кг	-	0,2
Вода, кг	По расчету	

Тесто готовили безопасным способом. Замес теста осуществляли в тестомесильной машине ТММ-330. После замеса тесто оставляли для брожения на 240 минут. Разделку теста производили следующим образом. Тесто делили на тестоделителе типа «Кузбасс» на заготовки 400 грамм, укладывали в подготовленные заранее формы. Формы с изделиями устанавливали на

вагонетки. Далее производили расстойку сформованных изделий в расстойном шкафу РТПК-530У при температуре 35-38 град и относительной влажности воздуха 70-80 % в течении 60 минут. Готовность теста к выпечке определяли органолептически. Выпечку производили в печи «Восход ХПЭ-500» при температуре 220-230°C в течении 55-60 минут.

В результате проведенных испытаний был получен хлеб с показателями качества, приведенными в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели качества хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка.

Показатель	Контроль	Опыт
Форма	Соответствует прямоугольной хлебной форме, в которой производилась выпечка, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов	Соответствует прямоугольной хлебной форме, в которой производилась выпечка, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов
Цвет	Светло-коричневый	Светло-коричневый
Вкус	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего привкуса	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего привкуса
Запах	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего запаха	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего запаха
Поверхность	Без крупных трещин и подрывов	Без крупных трещин и подрывов, со слегка увеличенным количеством пор
Промес	Без комочков и следов непромеса	Без комочков и следов непромеса
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений	Развитая, без пустот и уплотнений
Пропеченность	Пропеченный, не влажный на ощупь	Пропеченный, не влажный на ощупь
Влажность мякиша, %	47,0	47,0
Кислотность мякиша, град.	5,4	6,0
Пористость мякиша, %	63,0	64,0

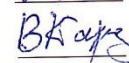
Комиссией установлено, что в результате производственных испытаний выработки хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка опытное изделие не уступало контрольному образцу по органолептическим и физико-химическим показателям качества, превосходя в значении пористости. Хлеб Забайкальский обогащенный композицией из хитозана и цинка можно рекомендовать к внедрению.


Главный технолог ООО «Эдди»

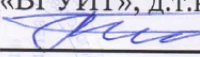
Технолог ООО «Эдди»

Аспирант кафедры «Товароведения и экспертизы товаров» ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I

 Н.Д.Молоторенко

 В.А.Карапетян

 М.А.Саргсян

Утверждаю
 Председатель комиссии
 Директор НУПЦТИГ ФГБОУ ВО
 «ВГУИТ», д.т.н., профессор

 Попов Е.С.
 М.П.
 « » 2024 г



АКТ

производственных испытаний по выработке
 хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка

Комиссия в составе: председателя комиссии директора научно-учебно-производственного центра технологий индустрии гостеприимства (НУПЦТИГ) ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», доктора технических наук, профессора Попова Е.С., ведущего технолога Власовой Т.В., технолога Петровской Г.А. аспиранта кафедры «Товароведения и экспертизы товаров» ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I Саргсяна М.А. провели проверочные производственные испытания приготовления хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка на базе НУПЦТИГ ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий».

Для проведения испытаний использовали муку пшеничную хлебопекарную Второго сорта и муку пшеничную хлебопекарную цельнозерновую по ГОСТ 26574-2017, дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие по ГОСТ Р 54845-2011, соль поваренную пищевую сорта Экстра по ГОСТ Р 51574-2018Ю, сульфат цинка 7-водный по ГОСТ 4174-77, хитозан пищевой (производитель «ZHEJIANG AOXING BIOTECHNOLOGY CO., LTD, KHP в соответствии с Декларацией ЕАЭС N RU Д-CN.PA01.B.60276/21).

Технологический процесс приготовления хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка осуществляли следующим образом. Подготовка сырья к производству осуществлялась согласно соответствующему разделу «Сборника технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий», «Инструкции по предотвращению попадания посторонних предметов в продукцию хлебопекарного производства» и разделу, регламентирующему требования к обеспечению безопасности пищевой продукции в процессе ее производства ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Подготовленное сырье дозировали вручную в соответствии с рецептурами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура приготовления опытного и контрольного образцов хлеба Забайкальского.

Наименование сырья	Расход сырья на 100 кг муки, кг	
	Контроль	Опыт
Мука пшеничная хлебопекарная Второго сорта, кг	50,0	49,8
Мука пшеничная хлебопекарная цельнозерновая, кг	50,0	50,0
Соль поваренная пищевая, кг	1,5	1,5
Дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие, кг	0,5	0,5
Обогащающая сухая композиция из хитозана и цинка, кг	-	0,2
Вода, кг	По расчету	

Тесто готовили безопарным способом. Замес теста осуществляли в тестомесильной машине Rosso RH-10. После замеса тесто оставляли для брожения на 240 минут. Разделку теста производили следующим образом. Тесто делили на тестоделителе типа КТМ-1 KRV на заготовки 400 грамм, укладывали в подготовленные заранее формы. Формы с изделиями устанавливали на вагонетки. Далее производили расстойку сформированных изделий в расстойном шкафу Восход ШРЭ-2,1 при температуре 35-38 град и относительной влажности воздуха 70-80 % в течении 60 минут. Готовность теста к выпечке определяли органолептически. Выпечку производили в печи Miratek ВХ-10Е при температуре 220-230°C в течении 55-60 минут.

В результате проведенных испытаний был получен хлеб с показателями качества, приведенными в таблице 2.

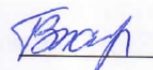
Таблица 2 – Показатели качества хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка.

Показатель	ГОСТ Р 58233-2018	Контроль	Опыт
1	2	3	4
Форма	Соответствующий хлебной форме, в которой производилась выпечка, с несколько выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов	Соответствует хлебной форме, в которой производилась выпечка, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов	прямоугольной
Цвет	Светло-коричневый, допускается белесоватость	Светло-коричневый	
Вкус	Свойственный данному виду изделия, без постороннего привкуса	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего привкуса	

1	2	3	4
Запах	Свойственный данному виду изделия, без постороннего запаха	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего запаха	
Поверхность	Без крупных трещин и подрывов	Без крупных трещин и подрывов	Без крупных трещин и подрывов, со слегка увеличенным количеством пор
Промес	Без комочков и следов непромеса	Без комочков и следов непромеса	
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений	Развитая, без пустот и уплотнений	
Пропеченость	Пропеченый, не влажный на ощупь	Пропеченый, не влажный на ощупь	
Влажность мякиша, %	не более 49,0	47,0	47,0
Кислотность мякиша, град.	не более 7,0	5,4	6,0
Пористость мякиша, %	не менее 60,0	63,0	64,0

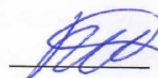
Комиссией установлено, что в результате производственных испытаний выработки хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка опытное изделие не уступало контрольному образцу по органолептическим и физико-химическим показателям качества, превосходя в значении пористости. Хлеб Забайкальский обогащенный композицией из хитозана и цинка можно рекомендовать к внедрению.

Ведущий технолог НУПЦТИГ
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный университет
инженерных технологий»



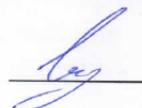
Власова Т.В.

Технолог НУПЦТИГ
ФГБОУ ВО «Воронежский
государственный университет
инженерных технологий»



Петровская Г.А.

Аспирант кафедры «Товароведения и
экспертизы товаров» ФГБОУ ВО
Воронежский государственный аграрный
университет им. императора Петра I



Саргсян М.А.



Утверждаю
Председатель комиссии
Генеральный директор
АО «Тобус»
Пустовалов А. А.

2024 г

АКТ

производственных испытаний по выработке
хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка

Комиссия в составе: председателя комиссии Генерального директора Пустовалова А.А., начальника лаборатории Гусевой М.А., старшего инженера-технолога Дрожжиной И.Ю., аспиранта кафедры «Товароведения и экспертизы товаров» ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I Саргсяна М.А. провели проверочные производственные испытания приготовления хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка на базе хлебозавода АО «Тобус».

Для проведения испытаний использовали муку пшеничную хлебопекарную Второго сорта ГОСТ 26574-2017, муку пшеничную хлебопекарную цельнозерновую ГОСТ 26574-2017, дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие ГОСТ Р 54845-2011, соль поваренную пищевую сорта Экстра ГОСТ Р 51574-2018Ю, хитозан пищевой (Декларация ЕАЭС N RU Д-СН.РА01.В.60276/21, производитель «ZHEJIANG AOXING BIOTECHNOLOGY CO., LTD», Китай), сульфат цинка 7-водный ГОСТ 4174-77.

Технологический процесс приготовления хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка осуществляли следующим образом. Подготовка сырья к производству осуществлялась согласно соответствующему разделу «Сборника технологических инструкций для производства хлеба и хлебобулочных изделий», «Инструкции по предотвращению попадания посторонних предметов в продукцию хлебопекарного производства» и разделу, регламентирующему требования к обеспечению безопасности пищевой продукции в процессе ее производства ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».

Подготовленное сырье дозировали вручную в соответствии с рецептурами, приведенными в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептура приготовления хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка.

Наименование сырья	Контроль	Опыт
Мука пшеничная хлебопекарная Второго сорта, кг	50,0	49,8
Мука пшеничная хлебопекарная цельнозерновая, кг	50,0	50,0
Соль поваренная пищевая, кг	1,5	1,5
Дрожжи хлебопекарные сухие быстродействующие, кг	0,5	0,5
Обогащающая композиция из хитозана и цинка, кг	-	0,2
Вода, кг	По расчету	


Тесто готовили безопасным способом. Замес теста осуществляли в тестомесильной машине А2-ХТ2-Б. После замеса тесто оставляли для брожения на 240 минут. Разделку теста производили следующим образом. Тесто с помощью делителя-укладчика Ш 33-ХД-3-У делили на тестовые заготовки по 400 грамм, и укладывали в формы-люльки расстойно-печного агрегата на базе печи ГПР. Затем тестовые заготовки поступали на расстойку в расстойный шкаф. Продолжительность расстойки 41 минута при температуре $(43 \pm 2) ^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха $(75 \pm 5) \%$. Выпечка производилась в печи ГПР в неувлажненной пекарной камере при температуре $(155 \pm 2) ^\circ\text{C}$. Продолжительность выпечки 51 минута. Хлеб перед выемкой из печи опрыскивается водой.

В результате проведенных испытаний был получен хлеб с показателями качества, приведенными в таблице 2.

Таблица 2 – Показатели качества хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка.

Показатель	Контроль	Опыт
Форма	Соответствует прямоугольной хлебной форме, в которой производилась выпечка, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов	Соответствует прямоугольной хлебной форме, в которой производилась выпечка, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов
Цвет	Светло-коричневый	Светло-коричневый
Вкус	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего привкуса	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего привкуса
Запах	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего запаха	Свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего запаха
Поверхность	Без крупных трещин и подрывов	Без крупных трещин и подрывов, со слегка увеличенным количеством пор
Промес	Без комочков и следов непромеса	Без комочков и следов непромеса
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений	Развитая, без пустот и уплотнений
Пропеченость	Пропеченый, не влажный на ощупь	Пропеченый, не влажный на ощупь
Влажность мякиша, %	47,0	47,0
Кислотность мякиша, град.	5,4	6,0
Пористость мякиша, %	63,0	64,0

Комиссией установлено, что в результате производственных испытаний выработки хлеба Забайкальского обогащенного композицией из хитозана и цинка опытное изделие не уступало контрольному образцу по органолептическим и физико-химическим показателям качества, превосходя в значении пористости. Хлеб Забайкальский обогащенный композицией из хитозана и цинка можно рекомендовать к внедрению.

Начальник лаборатории «  »

Гусева М.А.

Старший инженер-технолог «  »

Дрожжина И.Ю..

Аспирант кафедры «Товароведения и экспертизы товаров» ФГБОУ ВО Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I



М.А.Саргсян

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I

ОКПД-2 10.71.11.179

Группа _____
(ОКС 67.040)



УТВЕРЖДАЮ
И.о. проректора по научной работе
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
С.Н.Семенов
2024 г.

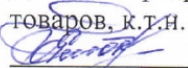
**ХЛЕБ ЗАБАЙКАЛЬСКИЙ ОБОГАЩЕННЫЙ КОМПОЗИЦИЕЙ ИЗ
ХИТОЗАНА И ЦИНКА**

Технические условия
ТУ 10.61.22-012-00492894-2024

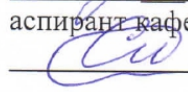
Дата введения в действие - 28.10.2024 г.

РАЗРАБОТАНО

Доцент кафедры товароведения и экспертизы
товаров, к.т.н.

 Е.В. Белокурова

аспирант кафедры

 М.А. Саргсян

г. Воронеж
2024 г.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Воронежский государственный аграрный университет
имени императора Петра I

ОКПД-2 10.89.19.210

Группа _____
(ОКС 67.040)



УТВЕРЖДАЮ
Врио ректора
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
_____ Н.М. Дерканосова
_____ 2025 г.

**ОБОГАЩАЮЩАЯ ПИЩЕВАЯ КОМПОЗИЦИЯ ИЗ
ИММОБИЛИЗОВАННОГО НА ХИТОЗАНЕ ЦИНКА**

Технические условия
ТУ 10.61.22-005-00492894-2025

Дата введения в действие «20» марта .2025 г.

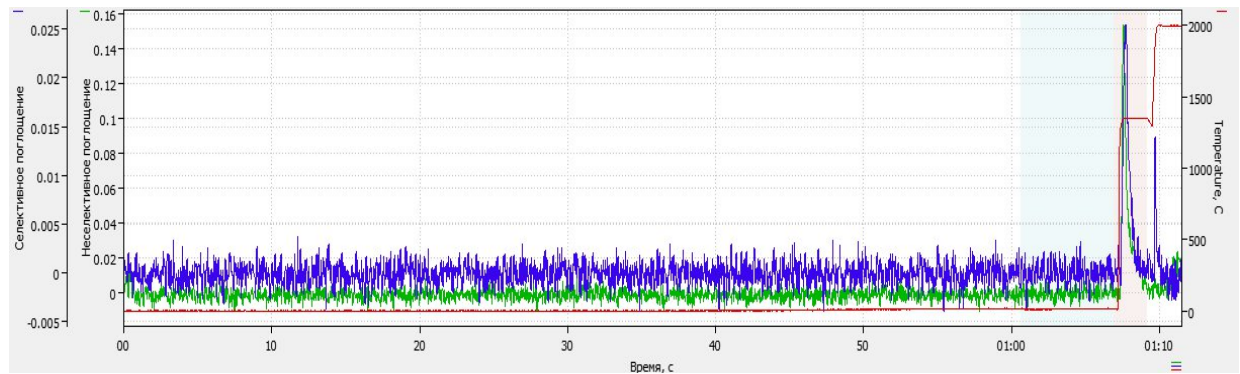
РАЗРАБОТАНО

Доцент кафедры товароведения и экспертизы
товаров, к.т.н.

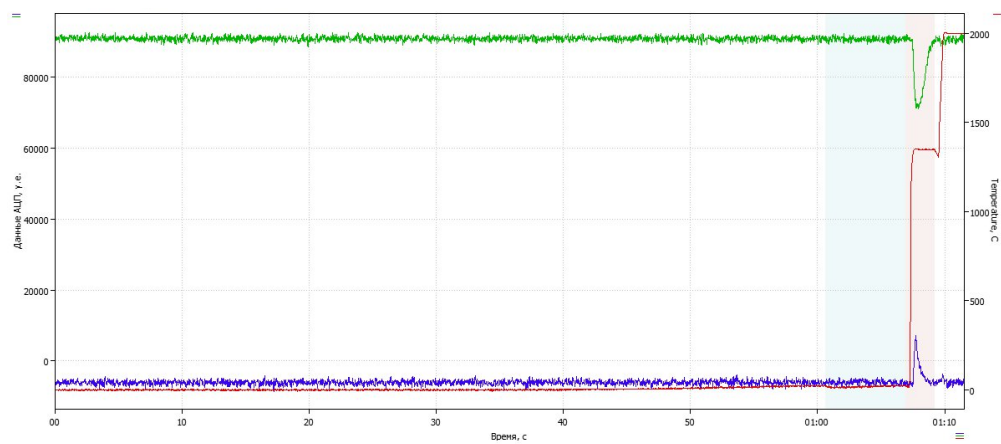
_____ Е.В. Белокурова
аспирант кафедры

_____ М.А. Саргсян

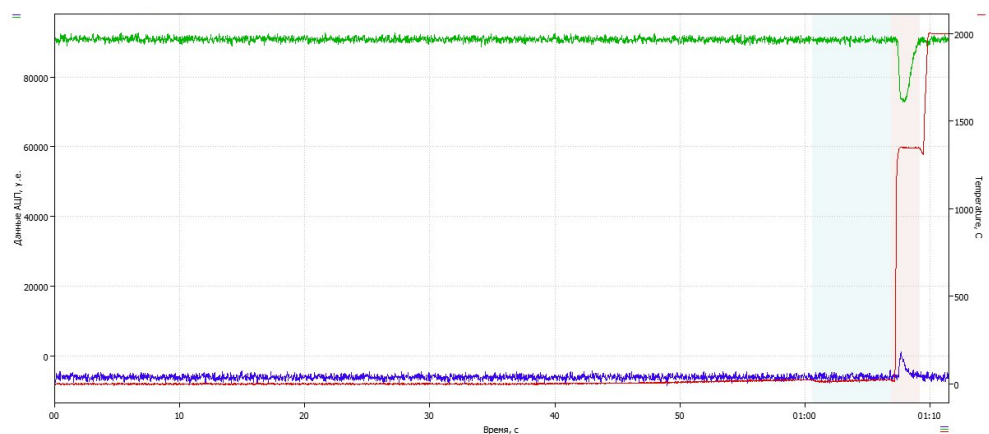
г. Воронеж
2025 г.



Регистрограмма сигнала атомной абсорбции цинка в образце обогащающей композиции

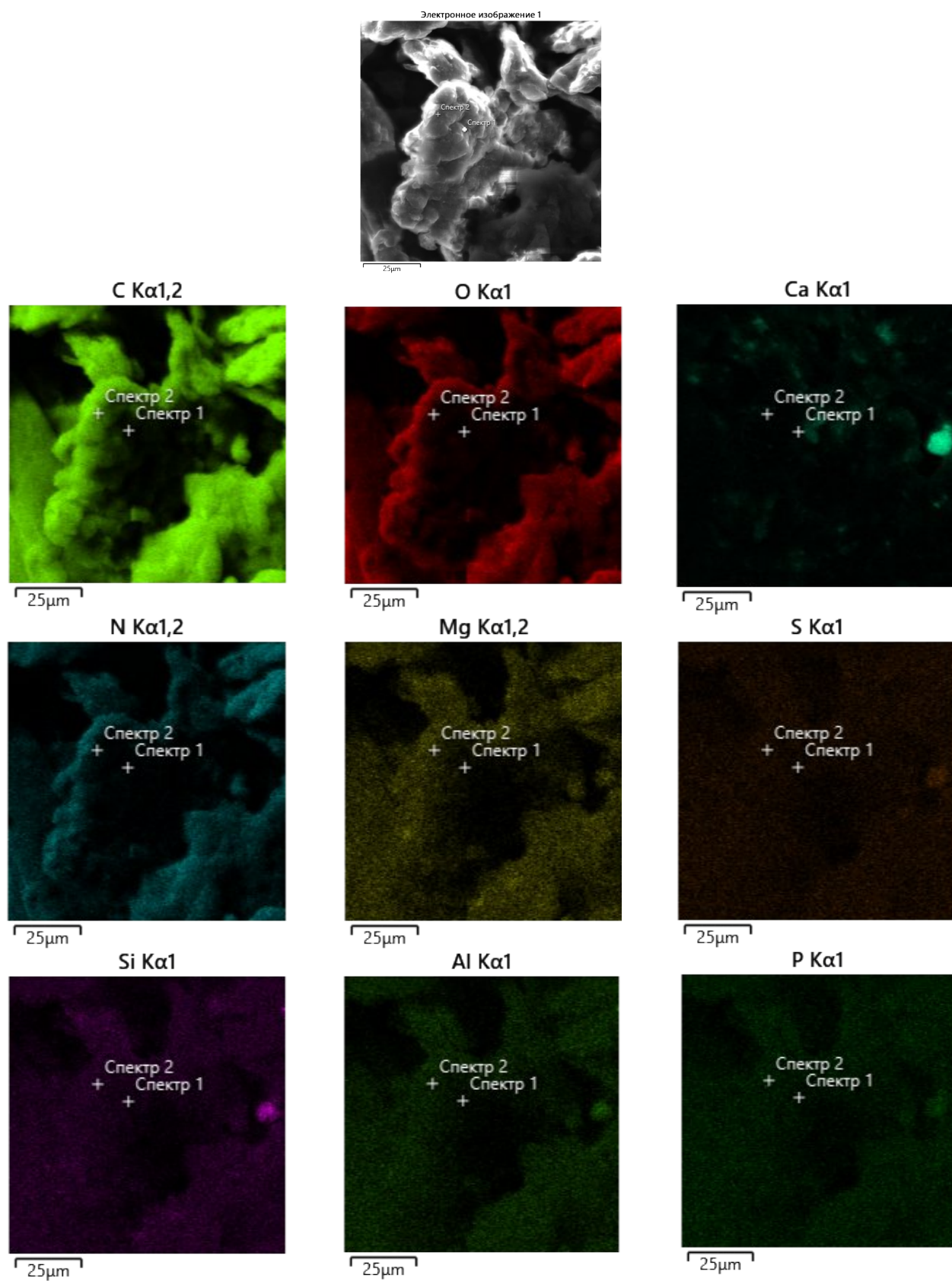


а)



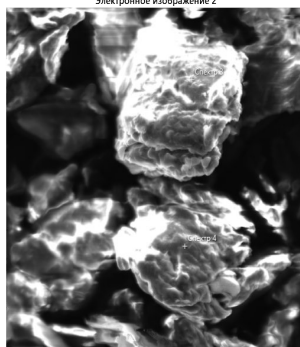
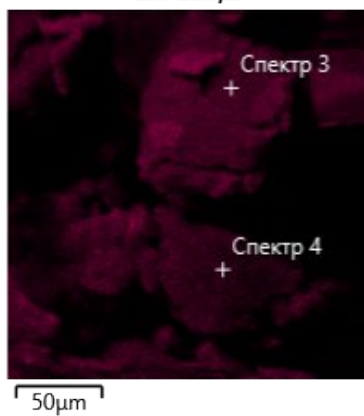
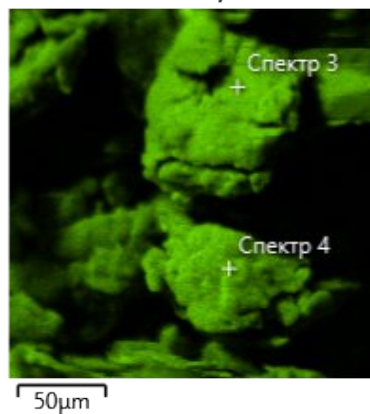
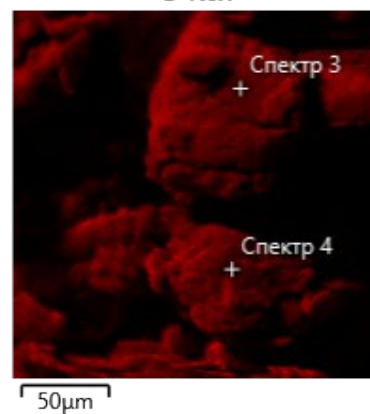
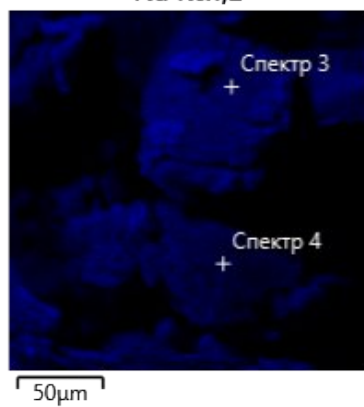
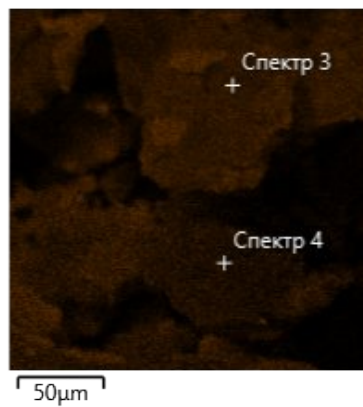
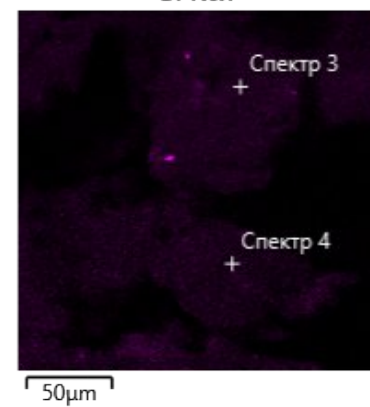
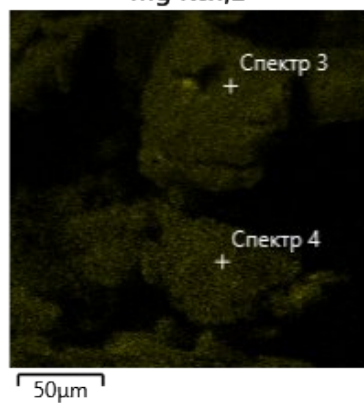
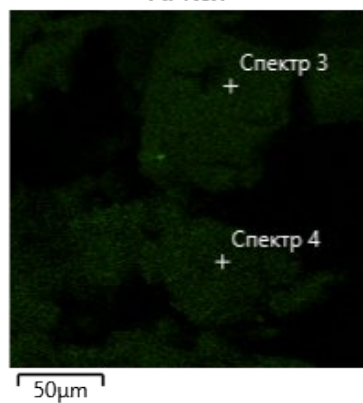
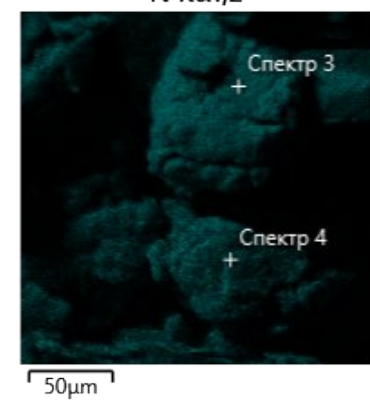
б)

Регистрограмма сигнала содержания цинка в образцах хлеба: а) Хлеб забайкальский формовой обогащенный композицией из хитозана и цинка; б) Хлеб забайкальский формовой.

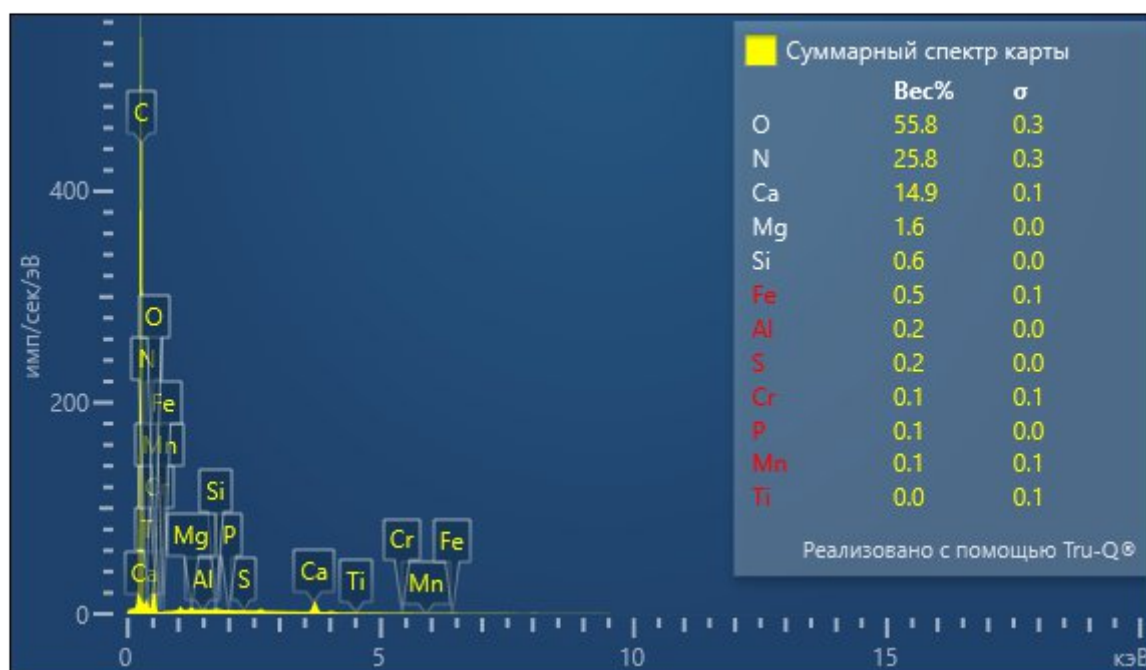


ЭДС-картирование необработанного образца хитозана

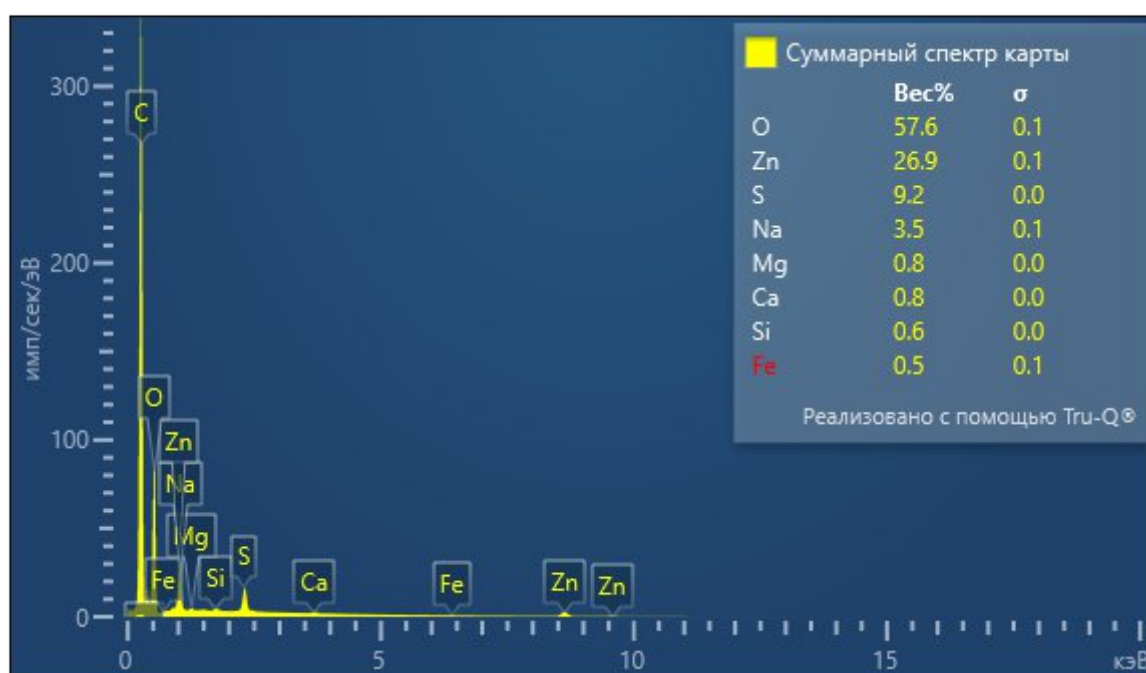
Электронное изображение 2

Zn L α 1,2C K α 1,2O K α 1Na K α 1,2S K α 1Si K α 1Mg K α 1,2Al K α 1N K α 1,2

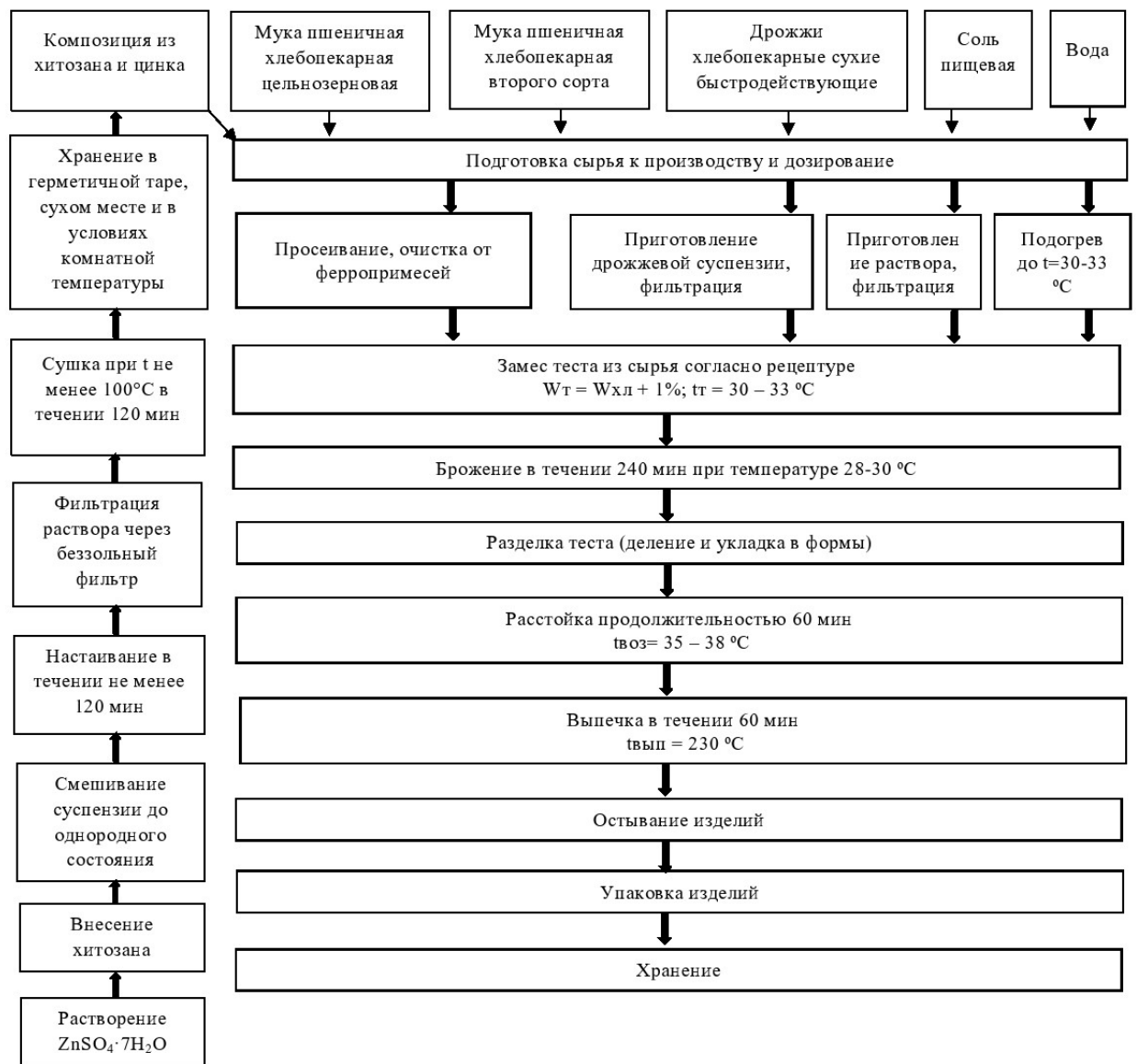
ЭДС-картирование образца хитозана с закрепленным цинком



Суммарный спектр исходного образца хитозана



Суммарный спектр образца хитозана с иммобилизованным цинком



Технологическая схема производства хлеба забайкальского формового обогащенного композицией из хитозана и цинка

Шкала балльной оценки показателей качества хлеба

Показатель	Балл	Коэффициент	Словесная характеристика показателей
Форма	5	2	Хлеб с куполообразной верхней коркой
	4		Хлеб с заметно выпуклой верхней коркой
	3		Хлеб с едва выпуклой верхней коркой
	2		Хлеб с плоской верхней коркой
	1		Хлеб с вогнутой верхней коркой
Цвет	5	2	Равномерный, от темно-золотистого до коричневого
	4		Достаточно равномерный, светло-коричневый
	3		В целом равномерный, от светло-золотистого до темно-коричневого
	2		Желтый
	1		Бледный или подгорелый
Вкус	5	3	Интенсивно выраженный, характерный
	4		Выраженный, характерный
	3		Слабовыраженный, характерный
	2		Пресноватый, слегка кислый, слегка, тестовый
	1		Пресный, кислый, посторонний, неприятный
Запах	5	3	Интенсивно выраженный, характерный
	4		Выраженный, характерный
	3		Слабовыраженный, характерный
	2		Невыраженный, слегка посторонний, приемлемый
	1		Сильнокислый, горьковатый, посторонний, неприятный
Поверхность	5	2	Гладкая, без трещин и подрывов, глянцевая
	4		Достаточно гладкая, едва заметные трещины и подрывы
	3		Слегка пузырчатая, шероховатая; заметные, но не крупные трещины
	2		Пузырчатая, бугристая, крупные трещины и подрывы
	1		Разорванная корка, существенные повреждения
Промес	5	2	Без комков и следов непромеса
	4		Без комков, заметны незначительные участки непромеса
	3		Ограниченное количество комков, заметны участки непромеса
	2		Отмечается большое количество комков, заметны участки непромеса
	1		Обилие крупных комков, участки непромеса значительные
Пористость	5	3	Поры мелкие, тонкостенные, безупречно равномерно распределены по всему пространству среза мякиша
	4		Поры мелкие и средние или только средние, тонкостенные, распределены достаточно равномерно
	3		Поры разной величины, средней толщины, распределены неравномерно
	2		Поры очень мелкие, недоразвитые или крупные, толстостенные, незначительные пустоты
	1		Значительное количество плотных беспористых участков, мякиш оторван от верхней корки, значительные пустоты
Пропеченность	5	3	Пропечен полностью, мякиш сухой и рыхлый на ощупь, без влаги
	4		Пропечен в достаточной степени, мякиш мягкий, немного влажный, не липкий
	3		Удовлетворительно пропечен, мякиш влажный и слегка липкий, присутствует незначительная клейкость
	2		Недостаточно пропечен, мякиш влажный и липкий, наблюдаются участки сырого теста
	1		Пропечен плохо, мякиш сырой и клейкий, корочка отсутствует или не оформлена, значительные участки необработанного теста

Оценка хлеба по органолептическим показателям

Показатель	Наименование продукта	
	Контроль	Опыт
Форма	Соответствует прямоугольной хлебной форме, в которой производилась выпечка, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов	Соответствует прямоугольной хлебной форме, в которой производилась выпечка, с выпуклой верхней коркой, без боковых выплывов
Цвет	Светло-коричневый	Светло-коричневый
Вкус	Выраженный, свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего привкуса	Выраженный, свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего привкуса
Запах	Выраженный, свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего запаха	Выраженный, свойственный хлебу из смеси муки пшеничной хлебопекарной второго сорта и пшеничной цельнозерновой, без постороннего запаха
Поверхность	Без крупных трещин и подрывов	Без крупных трещин и подрывов, со слегка увеличенным количеством пор
Промес	Без комочков и следов непромеса	Без комочков и следов непромеса
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений	Развитая, без пустот и уплотнений
Пропеченость	Пропеченый, не влажный на ощупь	Пропеченый, не влажный на ощупь
Средний балл	82	85