

На правах рукописи



Саргсян Мартин Александрович

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

**4.3.3. Пищевые системы**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**Диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Орел - 2025

Диссертационная работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I».

**Научный руководитель:** кандидат технических наук, доцент кафедры товароведения и экспертизы товаров  
ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

**Белокурова Елена Владимировна**

**Официальные оппоненты:** доктор технических наук, профессор, проректор по цифровизации, научной и инновационной деятельности, профессор кафедры земледелия, селекции и растениеводства ФГБОУ ВО Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина

**Березина Наталья Александровна**

доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой пищевых технологий и биоинженерии, ФГБОУ ВО Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова

**Никитин Игорь Алексеевич**

**Ведущая организация:** ФГБОУ ВО Мичуринский государственный аграрный университет

Защита состоится «20» января 2026 года в 10 ч. 00 мин. на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций 24.2.353.05 при ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» по адресу: 302020 г. Орёл, Наугорское шоссе, д.29 ауд. 212.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» (<https://oreluniver.ru>).

Отзывы на автореферат направлять в диссертационный совет по адресу: 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская, д.95 E-mail: [simonenkova1@mail.ru](mailto:simonenkova1@mail.ru).

Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» <https://oreluniver.ru> и в сети интернет на сайте Министерства образования и науки РФ: <https://vak.minobrnauki.gov.ru> «18» ноября 2025 года.

Автореферат разослан «01» декабря 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета, к.т.н., доцент



А.П. Симоненкова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**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. Небезосновательно «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, рационально 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. Пашенко, 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 A. 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

микроэлементов, 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 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).

**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.

## **СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы, поставлена цель и сформулированы задачи исследований, отмечена научная новизна и практическая значимость диссертационной работы.

**В первой главе** раскрывается проблема распространенности «скрытого голода» в мире, в частности, дается оценка частоте обнаружения микроэлементозов среди населения РФ. Попутно, представлен обзор научно-технической литературы в области поиска подходов к обогащению продуктов питания биологически значимыми компонентами. Отображена роль методов иммобилизации в решении поставленной задачи. Дано описание причины выбора в качестве обогащаемой рецептуры хлеба забайкальского формового. Приведен список сырья наиболее применимого в качестве носителя эссенциальных элементов. Произведен анализ ассортимента рынка хлебобулочных изделий в разрезе региона.

**Во второй главе** рассмотрены объекты и методы исследований.

Экспериментальные и аналитические исследования, опытные и опытно-промышленные испытания осуществлялись в структурных подразделениях ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ», ФГБОУ ВО «ВГУ», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии», в промышленных условиях и лабораториях АО «Тобус» (Воронежская область, Воронеж), НУПЦТИГ ФГБОУ ВО «ВГУИТ» (Воронежская область, Воронеж), ООО «Эдди» (Воронежская область, Новая Усмань) и передовой инженерной школы «Агроген» (Воронежская область, Воронеж).

Объектами исследований являлись хитозан пищевой, целлюлоза МКЦ 102, уголь активный древесный дробленый марки БАУ-А, кремния диоксид

коллоидный, цинк сернокислый 7-водный, мука хлебопекарная пшеничная II сорта, мука хлебопекарная высшего сорта, мука хлебопекарная пшеничная цельнозерновая, инстантные (быстродействующие) дрожжи, соль пищевая, хлебопекарное тесто, обогащенный хлеб.

Структурная схема исследования представлена на рисунке 1.

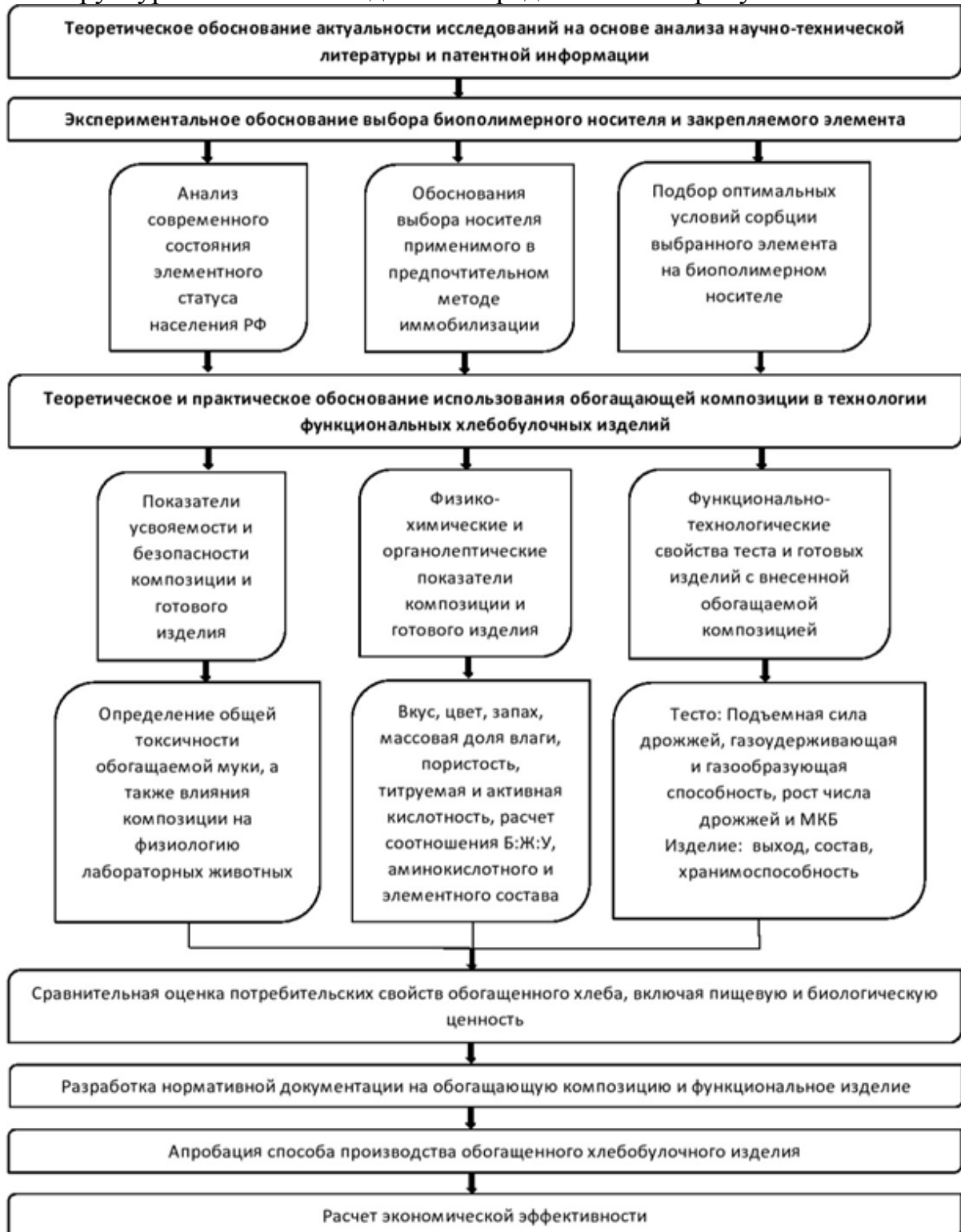


Рисунок 1 – Структурная схема исследований

В третьей главе дано описание разработки обогащающей композиции из хитозана и иммобилизованного цинка.



С целью выбора оптимального носителя для иммобилизации цинка, выделенного в качестве одного из наиболее фиксируемых дефицитных элементов в рационе россиян, исследовали физико-механические свойства следующих применимых в пищевой промышленности сорбентов: хитозана, целлюлозы, угля активированного и диоксида кремния. К установленным свойствам сорбентов относятся: коэффициент растворимости, коэффициент набухаемости, механическая прочность, удельный объем, насыпной вес, истинная плотность, и влажность (табл. 1). Существенно выделяется, по показателю растворимости в соляных кислотах, незначительно уступающий целлюлозе и диоксиду кремния по прочим характеристикам – хитозан, растворимость которого снижается лишь после достижения указанного значения.

Таблица 1 – Сравнение физико-механических свойств выбранных сорбентов

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

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. Установленное значение СОЕ в 0,52 мг-экв/г свидетельствует о высоком сорбирующем потенциале хитозана, что является существенным показателем для несинтетического сорбента.

Разработан способ закрепления эссенциального цинка на поверхности хитозана. 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 ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, на поверхности хитозана в навесках различной массы.

Основываясь на полученных результатах, принята, оптимальной для сорбции 30 мг Zn (в форме ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), навеска хитозана в интервале от 0,5 до 1,0 г. Установлен максимальный объем сорбции цинка в выбранной форме на 1,0 г хитозана. Исследования проведены при использовании рабочих растворов, полученных из 0,13; 0,5; 1,0; 2,0; 3,0 и 4,0 г. сульфата цинка. Полученные результаты демонстрируют предельный объем закрепляемого цинка на 1,0 г хитозана не превышающий 162±0,5 мг. Установлено, что минимальное время эффективной сорбции Zn на 1,0 г хитозана составляет 2

часа. Максимально сохраняемое количество элемента из растворов разной концентрации отображено на рисунке 2.

Определение точного количества закрепленного элемента производилось на 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.



Рисунок 2 – Максимальный объем сорбции цинка в форме  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  на поверхности 1 г хитозана

Попутно, получены снимки СЭМ изображения образца композиции, на основе которых произведено ЭДС-картирование и сформирован суммарный спектр фиксируемых элементов, по результатам которого отмечено наличие пиков, относящихся к щелочным и щелочноземельным металлам, что может быть обусловлено методом производства хитозана, включающим обработку хитина растворами гидроокисей. Анализ СЭМ-изображений показал, что иммобилизация цинка вызывает характерные изменения морфологии поверхности хитозана: образование сглаженных участков за счет конформационной перестройки полимерных цепей и появление локальных уплотнений, вероятно обусловленных формированием поверхностных гидроксокомплексов цинка, при этом пористая архитектура материала сохраняется в неизменном виде.

На основании собранных данных предложен способ получения обогащающей композиции из хитозана и цинка.

**В четвертой главе** изложено теоретическое и экспериментальное обоснование применения обогащающей композиции при производстве пшеничного хлеба.

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, активную кислотность и рост количества клеток дрожжей и молочнокислых бактерий (МКБ) в процессе брожения.

На рисунке 3 отображено влияние вносимой композиции на газообразующую способность, использованной в рецептуре хлеба забайкальского смеси муки пшеничной хлебопекарной II сорта и муки пшеничной хлебопекарной цельнозерновой. Объектами сравнения выступали: чистая смесь муки и смеси, обогащённые эквивалентным количеством сульфата цинка или хитозана. Согласно полученным данным, используемая смесь муки обладает средней газообразующей способностью, увеличивающейся при добавлении обогащающей композиции с иммобилизованным цинком или чистого сульфата цинка. Наблюдаемые у опытного образца значения достигают уровня, характерного для муки с высокой газообразующей способностью. На диаграмме отмечено снижение газообразования в контрольном образце со второго часа брожения, тогда как в обогащённых пробах наблюдается интенсификация выделения  $\text{CO}_2$ , вероятно, обусловленная наличием дополнительной питательной среды.

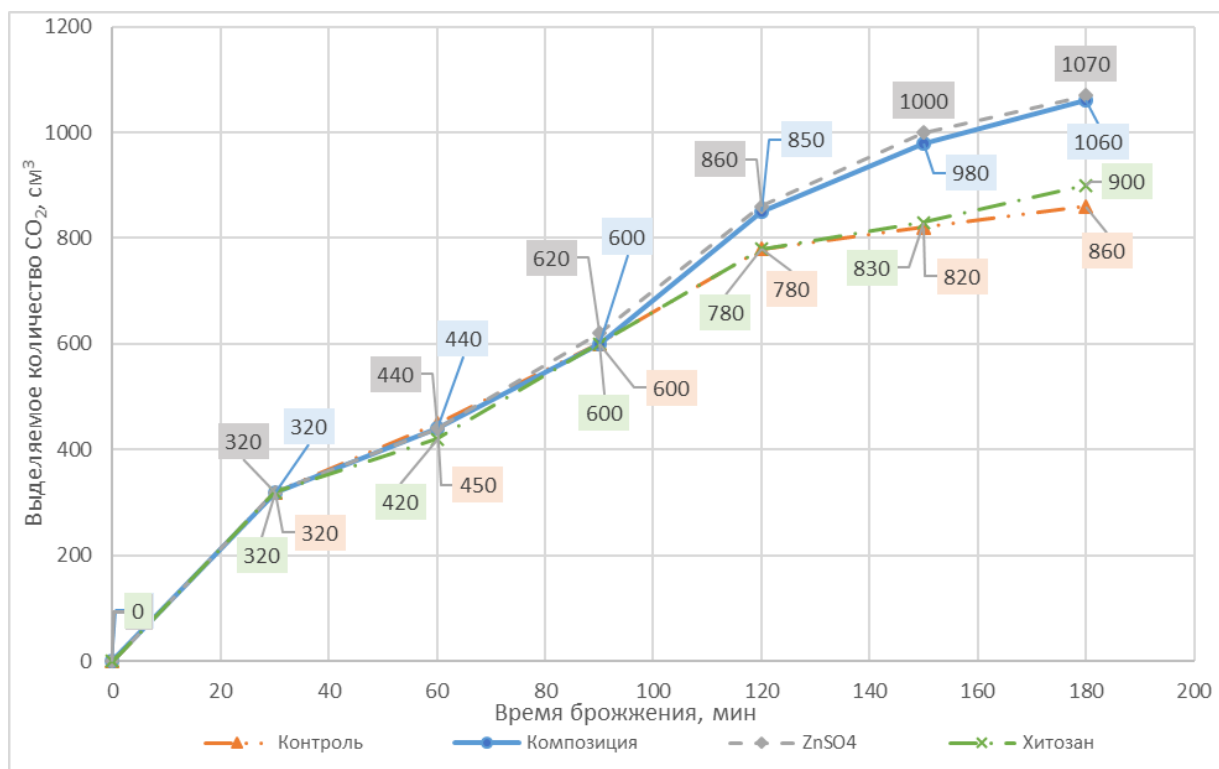


Рисунок 3 – Влияние вносимой композиции на количество  $\text{CO}_2$  образуемого в процессе брожения

Существенное влияние на качество теста оказывает его газодерживающая способность. На рисунке 4 представлены данные о влиянии обогащающей композиции на расплываемость тестового шарика. В качестве контроля выступало тесто из смеси пшеничной хлебопекарной муки II сорта и цельнозерновой муки. Опытные образцы были представлены тестом с внесением разработанной композиции, а также эквивалентным количеством сульфата цинка и хитозана. Все исследуемые образцы соответствовали категории «сильная» мука, при этом минимальная расплываемость тестового шарика была зафиксирована в пробе с композицией на основе хитозана и цинка.

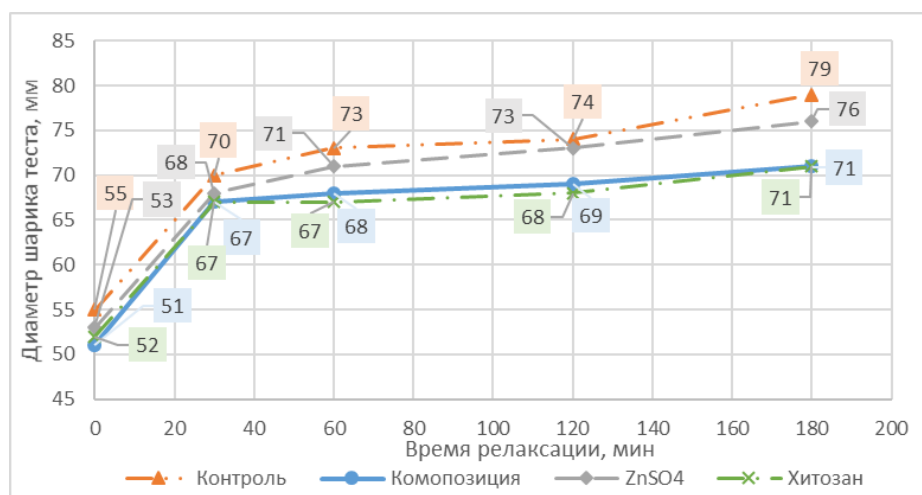


Рисунок 4 – Влияние вносимой композиции на расплываемость шарика теста в течение 3-х часов релаксации

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 в процессе брожения.

Полученные результаты характерны для теста из выбранных сортов муки. Внесение разработанной композиции и сульфата цинка снижает рН тестовой среды, тогда как добавление хитозана, благодаря его слабощелочным свойствам, незначительно повышает данный показатель. Динамика изменения числа клеток дрожжей в процессе брожения после внесения обогащающей композиции, содержащей цинк, отображена на рисунке 5.

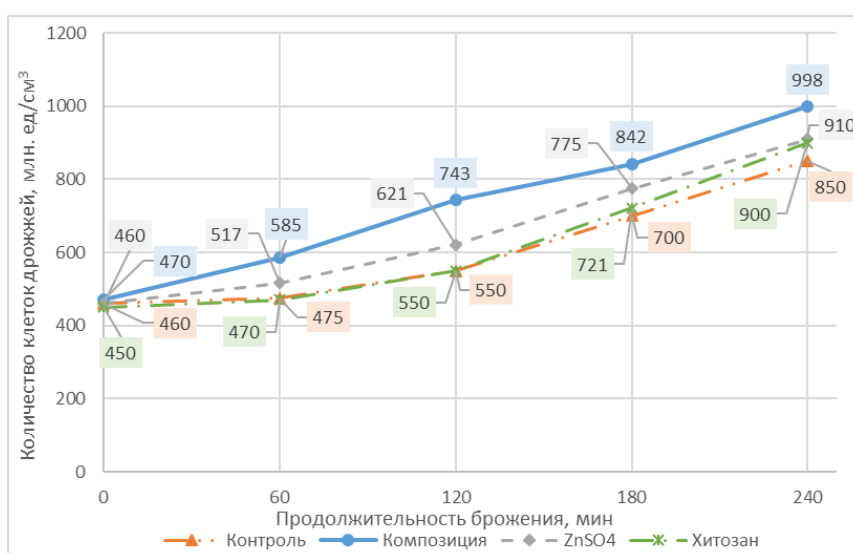


Рисунок 5 – Рост числа клеток дрожжей в процессе брожения теста

Изменения, происходящие с тестом в процессе расстойки и брожения, в частности влияние внесенной обогащающей композиции на величину подъемной силы дрожжей, ГУС, ГОС, кислотность и рост числа микроорганизмов, существенно сказываются на итоговом качестве получаемого продукта. Стимулирующее действие, оказываемое вносимой композицией на

процессы газообразования, газодержания и роста числа микроорганизмов в тесте важно учитывать в формировании технологического процесса изготовления хлеба.

Целесообразность применения обогащающей композиции в технологии забайкальского хлеба оценивали по влиянию на функционально-технологические свойства готовых изделий: физико-химические и органолептические показатели, а также концентрацию внесенного цинка. Дополнительно проведён расчёт пищевой и биологической ценности продукта, включая 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 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. Внешний вид готовых изделий отображен на рисунке 6.

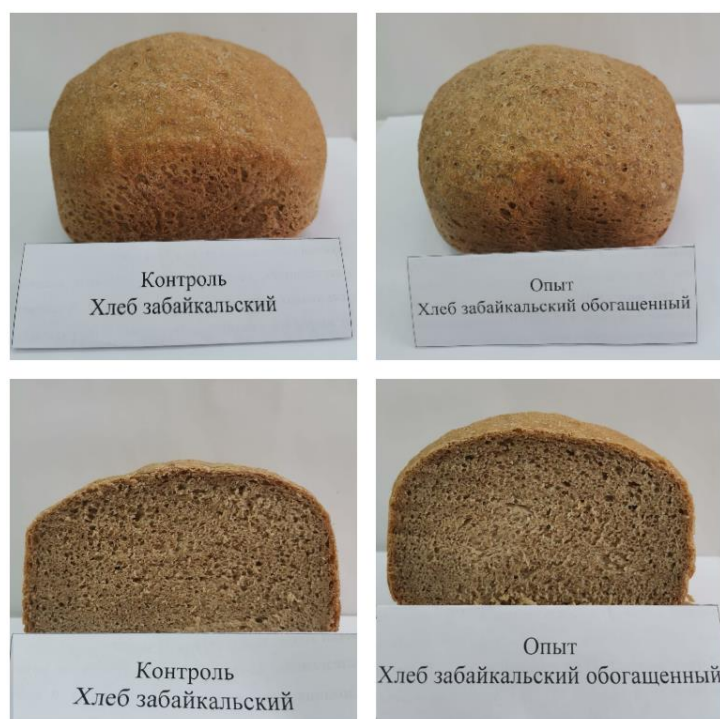


Рисунок 6 – Внешний вид контрольного и опытного образца

Согласно данным таблицы 2, разработанное обогащенное изделие соответствует нормам ГОСТ Р 58233-2018 по органолептическим и физико-химическим показателям. Внесение обогащающей композиции не оказало значимого влияния на органолептические свойства изделий. Однако в случае повышения количества соли элемента или сорбента в рецептуре либо изменения соотношения композиции к муке, необходимо брать в учет особенности вкуса данных сырьевых источников во избежание ощущения терпкого вяжущего вкуса в готовой продукции.

С применением методов атомно-абсорбционного анализа (ААС) устанавливали содержание цинка в готовых изделиях. 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.

Сформирован расчётный состав хлеба забайкальского, по данным которого контрольное и опытное изделия демонстрируют достоинства в высоком содержании витаминов и эссенциальных элементов, благодаря применению 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 опытном изделии до 3,39 мг на 100 г, не оказывая влияние на общее соотношение Б:Ж:У и прочих нутриентов в продукте.

Таблица 2 – 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		
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	
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, со слегка увеличенным количеством пор
Промес	Без комочков и следов непромеса		
Пористость	Развитая, без пустот и уплотнений		
Пропеченость	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



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.

Влияние композиции на хранимоспособность оценивали путём сравнения контрольного и опытного образцов хлеба в процессе хранения (с интервалом 24 часа) по следующим микробиологическим показателям: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов (КМАФАнМ), бактерий группы кишечной палочки (БГКП), плесеней и дрожжей.

Количество БГКП, плесеней и дрожжей в обоих образцах в течение всего срока хранения оставалось в пределах нормы. При этом количество КМАФАнМ в обогащённом образце, оставаясь в допустимых пределах, превышало показатели контроля. Указанные изменения, вероятно, связаны с интенсификацией метаболизма поверхностной микрофлоры (преимущественно бактериальной) ввиду повышенного содержания хитозана и цинка, что потенциально может влиять на максимальный срок годности продукта.

Несмотря на отмеченные различия, разработанная рецептура функционального хлеба соответствует требованиям ГОСТ 31752-2012. Сроки реализации продукта составляют не более 24 часов для неупакованного и не более 72 часов для упакованного в потребительскую тару хлеба.

Общую токсичность обогащающей композиции, содержащей  $25,9 \pm 0,3$  мг цинка, иммобилизованного на хитозане, определяли в соответствии с ГОСТ 31674-2012 по выживаемости инфузорий (*Stylonychia mytilus*). Данные о выживаемости модельных организмов представлены на рисунке 7.

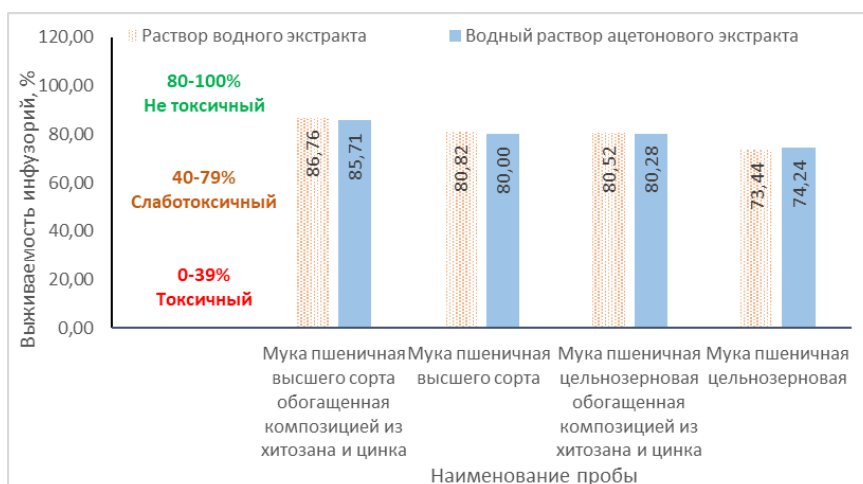


Рисунок 7 – Значение выживаемости *Stylonychia mytilus* в исследуемых образцах муки

Повторный подсчет численности стилонихий не выявил изменений их морфологии и двигательной активности. Внесение разработанной композиции увеличивало выживаемость инфузорий, в то время как наблюдаемые для образцов из цельнозерновой муки значения могут быть связаны с

агрохимическими особенностями почвы и сохранением зародыша и оболочек зерна при помоле.

Применение разработанной обогащающей композиции, как и любого нетрадиционного сырья, требует оценки биодоступности применяемых компонентов. Изучение усвояемости иммобилизованного цинка особенно актуально ввиду свойств хитозана как неселективного энтеросорбента, способного влиять на абсорбцию, как цинка, так и других нутриентов в ЖКТ.

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.

В результате изучения влияния обогащающей пищевой композиции на морфофункциональное состояние организма крыс отмечается повышение аккумуляции данного элемента в семенниках, печени и крови на 35,0 %, 24,2 % и 13,0 % относительно контрольной группы. Полученные данные подтверждают биодоступность вносимого элемента и его успешное распределение в организме.

Гистологический анализ выявил правильное морфологическое строение органов у животных опытной группы. В контрольной группе отмечена умеренная белковая дистрофия гепатоцитов, являющаяся компенсаторно-приспособительной реакцией на несбалансированное кормление и полностью обратимой. Отсутствие воспаления, некроза и фиброза в печени и почках свидетельствует о нетоксичности и хорошей переносимости разработанной композиции.

При анализе показателей крови установлено достоверное повышение содержания глюкозы в крови контрольных крыс на 53,6 %, 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.

**В пятой главе** проведена оценка экономической эффективности способа производства хлеба забайкальского формового обогащенного композицией из хитозана и цинка. С учетом затрат на производство обогащающей композиции непосредственно на хлебопекарном предприятии малой мощности итоговая стоимость 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 и подтверждает экономическую целесообразность реализации разработанной технологии.



## 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  $\text{CO}_2$  с 860 до 1060  $\text{см}^3$  в процессе брожения обогащенного теста, испытываемые 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 биоусвояемости 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», НУПЦИГ 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.

### **Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ**

1. Белокурова, Е.В. Возможности и условия сорбционной иммобилизации микроэлементов, для последующего применения в пищевой промышленности / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2022. – № 4. – С. 142-146.

2. Белокурова, Е.В. Подбор микроэлементов для иммобилизации их коллоидных структур на природном носителе с целью обогащения основных пищевых продуктов / Е.В. Белокурова, Е.С. Попов, **М.А. Саргсян** // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2022. – Т. 84, № 1(91). – С. 162-166.

3. Саргсян, М.А. Сравнение эффективности иммобилизации катионов на поверхности биополимерного носителя с целью использования полученной композиции в технологии хлебобулочных изделий / **М.А. Саргсян**, Е.В. Белокурова // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2023. – Т. 85, № 2(96). – С. 91-95.

4. Белокурова, Е.В. Подбор биополимерных носителей для иммобилизации на их поверхности эссенциальных элементов / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян**, Е.С. Попов, Т.В. Алексеева // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2023. – Т. 85, № 1(95). – С. 106-110.

5. Белокурова, Е.В. Возможность обогащения хлебобулочных изделий биологической композицией «цинк и хитозан» / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Известия Дагестанского ГАУ. – 2024. – № 1(21). – С. 193-197.

6. Белокурова, Е.В. Определение общей токсичности обогащающей композиции хлебобулочных изделий с использованием культуры *Styloynchia mytilus* / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян**, Н.А. Галочкина, Н.М. Дерканосова // Новые технологии. – 2024. – Т. 20, № 2. – С. 14-22.

7. Саргсян, М.А. Применение продуктов переработки растительного и животного происхождения в качестве основы для обогащения хлебобулочных изделий / **М.А. Саргсян**, Е.В. Белокурова, Н.М. Дерканосова // Хлебопечение России. – 2024. – Т. 68, № 5. – С. 19-30.

#### **Статья, индексируемая в базе данных Scopus**

8. Elena Belokurova, **Martin Sargsyan**, Tatyana Alekseeva, Tatyana Malyutina and Michael Korystin Food enrichment with trace elements by immobilizing them on the surface of a biopolymeric carrier / BIO Web Conf. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources” (FIES 2023), Volume 103, 2024, p 5.

#### **Патенты РФ**

9. Пат. №2837403 С1, А23L 33/16, А23L 33/21 Российская Федерация, Способ получения пищевой композиции для профилактики дефицита цинка / Н.М. Дерканосова, Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) – №2024119659; заявл. 12.07.2024; опубл. 31.03.2025. бюл. №10 – 8с.

10. Пат. №2839957 С1, А21D 13/00, А23L 33/165 Российская Федерация, Способ приготовления обогащенного цинком хлеба / Н.М. Дерканосова, Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян**; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I" (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ) – №2024129925; заявл. 04.10.2024; опубл. 14.05.2025. бюл. №14 – 8с.

#### **Публикации в материалах конференций, научных журналах и сборниках научных трудов**

11. Белокурова, Е.В. Выбор носителя для проведения иммобилизации коллоидных структур селена на его поверхности / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Innovations in life sciences : Сборник материалов IV международного симпозиума, Белгород, 25–27 мая 2022 года / Отв. редактор А.А. Присный. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2022. – С. 327-329.

12. Белокурова, Е.В. Подбор компонентов для создания комплексного носителя в сорбционной иммобилизации микроэлементов / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Новейшие достижения в области медицины, здравоохранения и здоровьесберегающих технологий : Сборник материалов I Международного конгресса, Кемерово, 28–30 ноября 2022 года / Под общей редакцией А.Ю. Просекова. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. – С. 43-45.

13. Саргсян, М.А. Подбор микроэлементов для иммобилизации их коллоидных структур на природном носителе в технологии булочных изделий для предприятий общественного питания / **М.А. Саргсян** // Молодежь и наука:

шаг к успеху : Сборник научных статей 6-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок молодых ученых. В 3-х томах, Курск, 22–23 марта 2022 года / Отв. редактор М.С. Разумов . Том 3. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2022. – С. 130-132.

14. Белокурова, Е.В. Выбор носителя для проведения иммобилизации коллоидных структур микроэлементов на его поверхности / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Наука и Образование. – 2022. – Т. 5, № 2. – С. 103-110.

15. Белокурова, Е.В. Возможности проведения физической иммобилизации микроэлементов на поверхности биополимерного носителя / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Innovations in life sciences : Сборник материалов V Международного симпозиума, Белгород, 24–26 мая 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – С. 108-109.

16. Белокурова, Е.В. Выбор носителя для проведения физической иммобилизации микроэлементов на его поверхности / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение : Сборник научных статей и докладов IX Международной научно-практической конференции, Воронеж, 15–17 декабря 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2023. – С. 288-291.

17. Белокурова, Е. В. Возможности и условия физической иммобилизации микроэлементов на поверхности биополимерного носителя / Е. В. Белокурова, **М. А. Саргсян** // Пищевая индустрия в современных условиях: тренды и инновации : сборник научных статей Международной научно-практической конференции, Орел, 19 апреля 2023 года. Том Выпуск 2. – Орел: Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина, 2023. – С. 290-293.

18. Саргсян, М.А. О возможности обогащения хлебобулочных изделий композицией из эссенциального элемента и носителя / **М. А. Саргсян** // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2023. – № 4(23). – С. 41-48.

19. Белокурова, Е.В. Определение оптимальных условий иммобилизации цинка на хитозане / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Пищевая индустрия в современных условиях: тренды и инновации : Сборник научных статей 2-й Международной научно-практической конференции, Орел, 25 апреля 2024 года. – Орел: ЗАО "Университетская книга", 2024. – С. 211-214.

20. Саргсян, М.А. О возможности обогащения хлебобулочных изделий композицией из хитозана и сульфата цинка / **М.А. Саргсян**, Е.В. Белокурова, Н.М. Дерканосова // Пищевая индустрия: инновационные процессы, продукты и технологии : Сборник материалов Международной научно-практической конференции, посвящённой 20-летию Технологического института, Москва, 16 мая 2024 года. – Москва: ООО «Сам Полиграфист», 2024. – С. 317-320.

21. Белокурова, Е.В. Влияние массы хитозана на сорбцию сульфата цинка / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Innovations in Life Sciences : сборник материалов VI Международного симпозиума, Белгород, 22–24 мая 2024 года. –

Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2024. – С. 380-382.

22. Белокурова, Е.В. Влияние композиции из хитозана и цинка на газообразующую способность муки / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Актуальные вопросы инженерно-технического и технологического обеспечения АПК : Материалы XI Национальной научно-практической конференции с международным участием, Иркутский ГАУ, 03–04 октября 2024 года. – Иркутский: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2024. – С. 223-227.

23. Саргсян, М.А. Возможности проведения иммобилизации эссенциальных микроэлементов на поверхности биополимерного носителя / **М.А. Саргсян** // Материалы Международной научно-практической конференции им. Д.И. Менделеева, посвящённой 15-летию Института промышленных технологий и инжиниринга : Сборник статей. В 3-х томах, Тюмень, 16–18 ноября 2023 года. – Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2024. – С. 391-394.

24. Белокурова, Е.В. Анализ зависимости технологических свойства пшеничного теста от качества вносимой обогащающей композиции из хитозана и цинка / Е.В. Белокурова, **М.А. Саргсян** // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: материалы X международной научно-практической конференции (2 декабря 2024 г.), 2024. – С. 27-31.