

На правах рукописи



Горбанов Илья Алексеевич

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МЯСНЫХ СНЕКОВ ИЗ
БАРАНИНЫ С УЧЁТОМ ПРИЖИЗНЕННОГО ФОРМИРОВАНИЯ
МАКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА СЫРЬЯ**

4.3.3. Пищевые системы

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Саратов – 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» (ФГБОУ ВО Вавиловский университет), г. Саратов

Научный руководитель

Гиро Татьяна Михайловна

доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты

Кудряшов Леонид Сергеевич

доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова» Российской академии наук, главный научный сотрудник отдела научных консультантов

Забалуева Юлия Юрьевна

кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского (Первый казачий университет)», доцент кафедры биотехнологий продуктов питания из растительного и животного сырья

Ведущая организация

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский биотехнологический университет (РОСБИОТЕХ)»

Защита диссертации состоится 29.05.2026 г. в 12:00 на заседании диссертационного совета 35.2.035.07 на базе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова», по адресу: 410005, г. Саратов, ул. Соколова, 335, УК №3, диссертационный зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии имени Н. И. Вавилова» и на сайте <https://www.vavilovsar.ru>.

Отзывы направлять учёному секретарю диссертационного совета 35.2.035.07 по адресу: 410012, г. Саратов, пр-кт им. Петра Столыпина зд. 4, стр. 3, e-mail: vasilissakutsenkova@yandex.ru.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2026 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Куценкова Василисса Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Производство мясной продукции повышенной пищевой ценности, в том числе за счёт оптимизации её минерального состава, является одним из перспективных направлений развития агропромышленного комплекса России. В условиях решения задач по обеспечению продовольственной безопасности, реализации политики импортозамещения и укрепления экспортных позиций отечественной продукции особое значение приобретает выпуск конкурентоспособных продуктов, ориентированных на потребности различных групп населения, в том числе проживающих в регионах с дефицитом микронутриентов. Указанные ориентиры согласуются с положениями Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, утверждённой Указом Президента РФ от 21.01.2020 № 20 (в ред. от 10.03.2025 № 141) о необходимости обеспечения населения качественной и безопасной пищевой продукцией, контроля её соответствия обязательным требованиям, а также внедрения конкурентоспособных отечественных технологий и развития производства материально-технических ресурсов для выпуска сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. В этом контексте возрастает интерес к технологиям, обеспечивающим управляемое формирование и сохранение требуемого минерального профиля мясного сырья на всех этапах производства – от прижизненного периода до выпуска готовой продукции.

При производстве мясных снеков из баранины предпочтительно используют сырьё, полученное от овец мясо-сального направления, характеризующееся оптимальным содержанием полноценного белка и жира, а также благоприятными органолептическими показателями (цвет, вкус, аромат, консистенция). В то же время по содержанию макроэлементов баранина вносит ограниченный вклад в покрытие суточной потребности человека. Следовательно, для получения мясных снеков из баранины с повышенным содержанием макроэлементов необходимо научно обосновать технологические решения, объединяющие прижизненный этап и последующую переработку сырья.

В связи с этим исследование сосредоточено, во-первых, на прижизненном формировании целевого макроэлементного состава мышечной ткани овец эдильбаевской породы путём включения в рацион бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», а во-вторых, на усовершенствовании технологического процесса производства мясных снеков из баранины, обеспечивающего сохранение прижизненно сформированных свойств сырья и стабильное качество готового продукта. Данное направление соответствует задачам Государственной программы развития сельского хозяйства (Постановление Правительства РФ от 14.07.2012 № 717) по повышению конкурентоспособности продукции АПК.

Работа выполнена в рамках научного направления № 01201151793 «Ресурсосберегающие технологии безопасных пищевых продуктов» (ФГБОУ ВО Вавиловский университет).

Степень разработанности темы. Научные основы технологий производства продуктов питания из мясного сырья представлены в трудах

отечественных и зарубежных учёных, среди которых специалисты из России: Лисицын А. Б., Хайруллин М. Ф., Журавская Н. К., Тутельян В. А., Ребезов М. Б., Чернуха И. М., Кудряшов Л. С., Гиро Т. М. и др., а также зарубежные исследователи: Toldra F., Ertbjerg P., Puolanne E., Bourne M. C. и др. Вопросы влияния кормовых добавок на качественные показатели мясного сырья рассмотрены в работах отечественных и зарубежных исследователей, среди которых Юлдашбаев Ю. А., Молчанов А. В., Сложенкина М. И., Bai X., Juniper D. T., Shoukry M. M. и др.

Систематизация результатов опубликованных исследований свидетельствует о необходимости дальнейшей экспериментальной проработки вопросов прижизненного формирования заданного макроэлементного состава мышечной ткани овец при использовании бифидогенных кормовых добавок и обеспечения его сохранности в готовых мясных снеках.

Цель работы – совершенствование технологии мясных снеков из баранины с учётом прижизненного формирования макроэлементного состава мышечной ткани овец при применении бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» и обеспечением сохранности сформированных показателей на этапах последующей переработки.

Задачи исследования:

1. Проанализировать научно-техническую литературу и патентную информацию по теме исследования.

2. Исследовать влияние бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» на прижизненное формирование в мышечной ткани овец содержания макроэлементов (Ca, Mg, P, K) и показателей качества мясного сырья.

3. Обосновать уровни внесения рецептурных компонентов посолочной смеси для мясных снеков на основе многофакторного эксперимента и статистической обработки данных, а также оценить пищевую ценность и сохранность витаминов и минеральных веществ в контрольных и опытных образцах после сушки и в процессе хранения с расчётом доли от рекомендуемой суточной нормы потребления для взрослых.

4. Обосновать параметры режима конвективной сушки мясных снеков из баранины на основе многофакторного эксперимента и статистической обработки данных.

5. Теоретически и экспериментально исследовать кинетику и процессы массообмена при конвективной сушке мясных снеков из баранины с обоснованием операционного критерия окончания процесса по скорости обезвоживания, соответствующего достижению целевого значения активности воды ($a_w \leq 0,85$).

6. Выполнить комплексную экономическую оценку эффективности технологической цепочки «сырьё – продукт».

7. Разработать нормативно-техническую документацию, провести опытно-промышленные испытания технологии производства мясных снеков, внедрить основные результаты исследования.

Объект исследований – мясное сырьё, полученное от овец эдильбаевской породы при включении бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» на прижизненном этапе, и продукт его переработки – мясные снеки.

Предмет исследований – закономерности формирования и сохранности макроэлементного состава мышечной ткани и показателей качества мясных снеков под влиянием факторов прижизненного формирования (применения бифидогенной добавки «ЛактуВет-1») и параметров технологического процесса (посола, режимов конвективной сушки).

Научная новизна работы:

– получены новые температурно-временные закономерности кинетики конвективной сушки мясных снеков из баранины, обогащённой макроэлементами, описывающие влияние режимов технологических воздействий (температура сушильного агента, длительность сушки) на скорость массоотдачи, формирование остаточной влажности и эффективный коэффициент влаго-диффузии;

– теоретически и экспериментально установлено, что прижизненное формирование макроэлементного профиля мышечной ткани за счёт включения бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в рацион овец эдильбаевской породы (опытная группа с добавкой) по сравнению с традиционным рационом без добавки (контрольная группа) обеспечивает повышение содержания макроэлементов в баранине: кальция – на 55,1 % ($P < 0,001$), магния – на 40,0 % ($P < 0,01$), фосфора – на 27,3 % ($P < 0,01$), калия – на 12,9 % ($P < 0,05$).

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в установлении закономерностей прижизненного формирования целевого макроэлементного состава мышечной ткани овец и в теоретическом обосновании механизмов его сохранности на стадиях посола, сушки и хранения. Обоснованы кинетические закономерности процесса конвективной сушки тонких ломтиков и критерии его завершения. Сформирована основа выбора технологических параметров и управления качеством при производстве мясных снеков.

Практическая значимость работы заключается в обосновании технологических параметров производства мясных снеков из баранины на стадиях посола и конвективной сушки. Обоснованы уровни внесения рецептурных компонентов посолочной смеси (соль, сахар, стартовые культуры) для производства мясных снеков из баранины. Установлены рациональные параметры режима конвективной сушки мясных снеков, обеспечивающие достижение конечной массовой доли влаги 23,5–24,5 %. Предложен и обоснован операционный критерий окончания сушки: на заключительном часовом этапе контроль по средней интервальной скорости обезвоживания служит индикатором достижения нормативного значения активности воды ($a_w \leq 0,85$). Сформированы условия хранения (до 90 суток при 18–20 °С). Произведена оценка экономической эффективности изготовления снеков из баранины с учётом затрат на стадиях переработки и получения готового продукта.

Разработана техническая документация на продукт – СТО 00493497-083-2025 (технологическая инструкция, рецептура). Промышленная апробация

мясных снеков проведена в учебно-научно-производственном комплексе «Пищевик» – структурном подразделении ФГБОУ ВО Вавиловский университет. Результаты исследований могут быть использованы мясоперерабатывающими предприятиями при проектировании и валидации технологий производства мясных снеков из баранины.

Методология и методы исследования: теоретические исследования проводились на основе методов математической статистики, общей теории тепло- и массообмена и физико-химических процессов посола и конвективной сушки мясного сырья. Экспериментальные исследования проводились по методикам, регламентированным действующими ГОСТами. Применялись современные методы оценки качественных характеристик мясного сырья: физико-химические, органолептические и специализированные методы контроля. Статистическая обработка экспериментальных данных выполнялась с использованием программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 10 с применением процедур описательной статистики и дисперсионного анализа, а также с оценкой статистической значимости различий.

Положения, выносимые на защиту:

– результаты исследований прижизненного формирования макроэлементного состава мышечной ткани овец при применении добавки «ЛактуВет-1» и его сохранности в мясных снеках после конвективной сушки и в процессе хранения;

– результаты многофакторного эксперимента и статистической обработки данных, обосновывающие состав посолочной смеси и параметры двухэтапного посола при производстве мясных снеков из обогащённой баранины;

– установленные на основе многофакторного эксперимента рациональные параметры режима конвективной сушки мясных снеков из обогащённой баранины;

– теоретически и экспериментально установленные кинетические параметры конвективной тонкослойной сушки мясных снеков из обогащённой баранины, включая параметры нормированных кривых обезвоживания, оценку эффективного коэффициента диффузии влаги и операционный критерий окончания процесса по средней интервальной скорости обезвоживания.

Степень достоверности и апробация работы: достоверность полученных данных обеспечена применением современных общепринятых методик. Эксперименты выполнены в достаточном объёме в соответствии с требованиями действующих ГОСТов и проведены на сертифицированном оборудовании с использованием аттестованных средств измерений.

Ключевые результаты диссертационного исследования были изложены и рассмотрены в ходе научно-практических мероприятий как российского, так и международного масштаба: «Инновационные подходы к развитию устойчивых аграрно-пищевых систем» (Волгоград, 2022 г.), Вавиловская конференция профессорско-преподавательского состава и аспирантов по итогам научно-исследовательской, учебно-методической и воспитательной работы (Саратов, 2023 г.), CCCXLI «Глобальная экономика в XXI веке: роль биотехнологий и цифровых технологий» (Москва, 2024 г.), «Актуальность использования

инновационных технологий при выращивании органической сельскохозяйственной продукции в различных почвенно-климатических условиях» (Карши, Узбекистан, 2024 г.), XI «Биотехнология: взгляд в будущее» (Ставрополь, 2025 г.), XXX «Общество: научно-образовательный потенциал развития (идеи, ресурсы, решения)» (Москва, 2025 г.), XIII «Пищевые инновации и биотехнологии» (Кемерово, 2025 г.), 76-я «Научно-технические приоритеты развития АПК России» (Рязань, 2025 г.).

Публикации. Материалы диссертационного исследования изложены в 13 печатных работах, из них 2 статьи в рецензируемых научных изданиях из перечня ВАК. Общий объём публикаций составляет 3,44 печ. л., из которых 1,60 печ. л. принадлежат лично соискателю.

Личный вклад автора состоит в научном обосновании и решении задачи совершенствования технологии производства мясных снеков из баранины с повышенным макроэлементным составом, формируемым на прижизненном этапе и сохраняемым при последующей переработке, а также в опытно-промышленной апробации технологии, разработке нормативно-технической документации на продукт, подготовке и представлении докладов на всероссийских и международных конференциях и публикации основных результатов исследования.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует пунктам 5, 9, 11 паспорта научной специальности 4.3.3. Пищевые системы.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, основных выводов, списка литературы и 9 приложений. Материал изложен на 195 страницах, включает в себя 44 таблицы и 34 рисунка. Список литературы содержит 153 наименования, из них 49 иностранных.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность, сформулированы цель и задачи исследования. Приведены основные положения диссертационной работы.

В **первой главе «Современное состояние технологий производства мясных снеков и перспективные направления их развития»** выполнен анализ отечественной и зарубежной литературы. На основании анализа литературы показана целесообразность использования бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», установлена необходимость экспериментальной оценки её влияния на показатели качества мясного сырья и намечены направления совершенствования технологии производства мясных снеков из баранины.

Во **второй главе «Программа, объекты и методы экспериментальных исследований»** приведены структура и основные этапы исследований (см. рисунок 1). Схема экспериментальных исследований отражает основные этапы работы, включая организацию опытов по прижизненному формированию макроэлементного состава сырья с использованием бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», комплексное изучение качественных характеристик мясного сырья, технологический процесс изготовления мясных снеков и оценку эффективности полученных результатов.

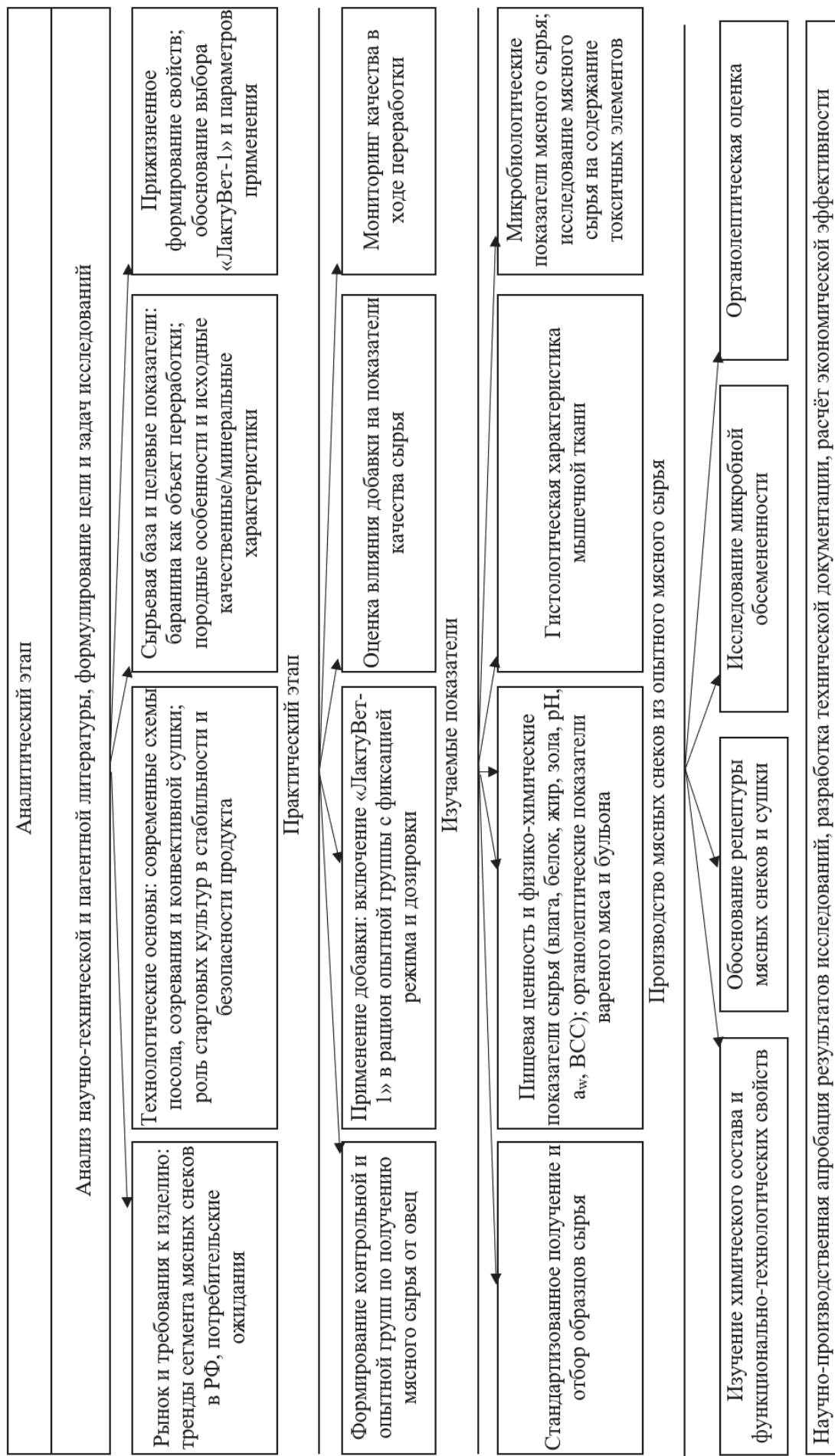


Рисунок 1 – Структура и программа аналитических и экспериментальных исследований

В третьей главе «Прижизненное формирование макроэлементного состава мышечной ткани овец и комплексная оценка показателей качества и безопасности баранины» представлены результаты экспериментальных исследований, обосновывающих влияние бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» на макроэлементный состав мышечной ткани, а также на параметры, определяющие объём, структуру, качество и безопасность мясного сырья, предназначенного для переработки в мясные снеки. Показано, что применение добавки с четырёхмесячного возраста сопровождалось статистически значимым увеличением живой массы к окончанию опыта на 4,7 %, абсолютного прироста живой массы за 90 дней – на 18,3 % и среднесуточного прироста – на 18,2 % ($P < 0,001$). В опытной группе предубойная масса была выше на 4,7 %, а масса мякоти – на 9,8 % по сравнению с контрольной группой, при отсутствии статистически значимых различий по массе внутреннего жира, курдюка, костей и площади «мышечного глазка».

Гистологическое исследование длиннейшей мышцы спины овец контрольной и опытной групп проведено на срезах мышечной ткани, окрашенных гематоксилином и эозином (см. рисунок 2).

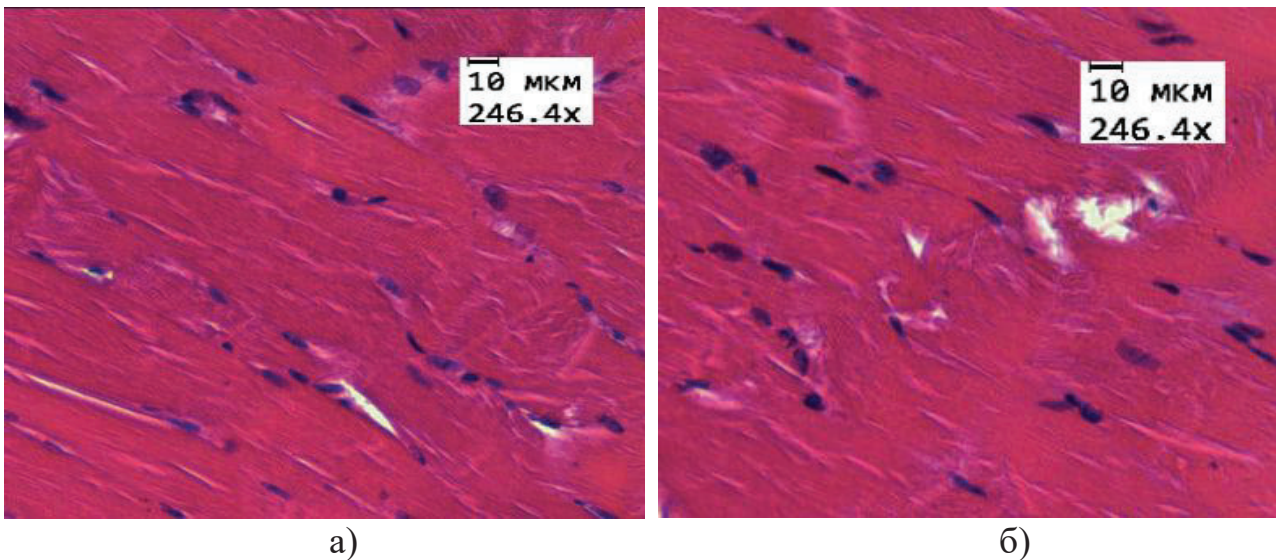


Рисунок 2 – Микрофотографии срезов мышечной ткани длиннейшей мышцы спины овец, окрашенных гематоксилином и эозином, при увеличении $\times 246,4$ ($n = 3$):

а) опытная группа, б) контрольная группа

В опытной группе мышечные волокна отличались компактным расположением, тонким эндомизием и минимальной выраженностью липидных включений в эндомизиальных прослойках, что свидетельствует об однородности структуры. В контрольной группе наблюдались менее упорядоченные волокна, утолщённый эндомизий и наличие единичных липидных включений в эндомизии. Выявленные микроструктурные различия имеют технологическое значение при оценке качества мясного сырья.

Химический состав мясного сырья, полученного от овец контрольной и опытной групп, представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Химический состав мясного сырья контрольной и опытной групп (n = 5)

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Массовая доля влаги, %	71,4±0,5	71,5±0,5
Массовая доля белка, %	19,40±0,18	19,70±0,20
Массовая доля жира, %	7,60±0,12	7,10±0,15*
Массовая доля золы, %	1,40±0,12	1,60±0,10
Энергетическая ценность, ккал/100 г	146,0±2,6	142,7±2,8

Примечание: * статистическая значимость различий между контрольной и опытной группами (P<0,05)

Массовая доля влаги в опытной группе составила 71,5±0,5 %, в контрольной группе – 71,4±0,5 % (P>0,05). Массовая доля белка в опытной группе составила 19,70±0,20 %, что на 1,55 % выше, чем в контрольной группе – 19,40±0,18 % (P>0,05). Массовая доля жира снизилась на 6,58 % и составила 7,10±0,15 % против 7,60±0,12 % в контрольной группе (P<0,05). Энергетическая ценность в опытной группе составила 142,7±2,8 ккал/100 г, что на 2,26 % ниже, чем в контрольной группе – 146,0±2,6 ккал/100 г (P>0,05).

Содержание макроэлементов в мышечной ткани овец опытной и контрольной групп представлено на рисунке 3.

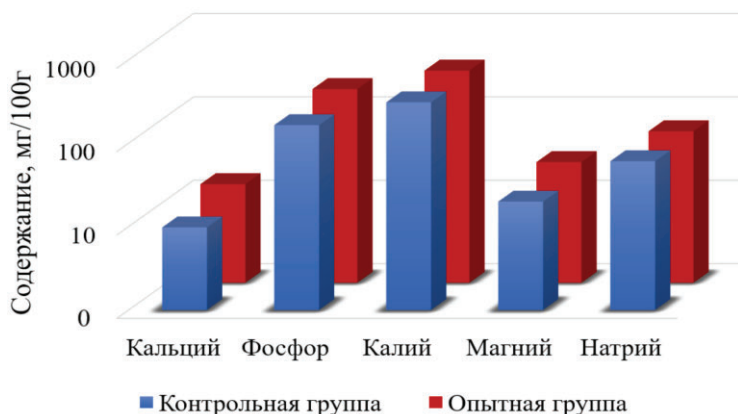
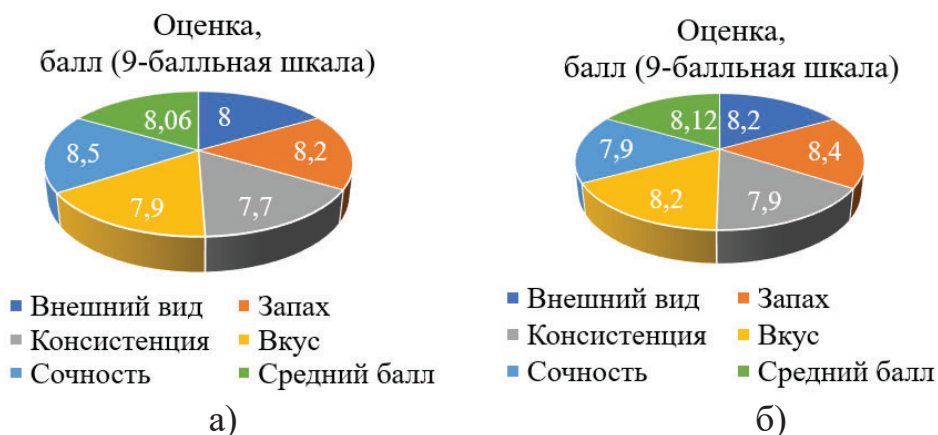


Рисунок 3 – Содержание макроэлементов в мышечной ткани овец эдильбаевской породы опытной и контрольной групп (n = 5)

Содержание кальция в опытной группе увеличилось на 55,1 % и составило 15,2±0,8 мг/100 г по сравнению с 9,8±0,7 мг/100 г в контрольной группе (P<0,001). Содержание фосфора в опытной группе возросло на 27,3 % и составило 210±10 мг/100 г, тогда как в контрольной группе данный показатель составил 165±9 мг/100 г (P<0,01). Содержание магния в опытной группе увеличилось на 40,0 % и составило 28,0±1,4 мг/100 г по сравнению с 20,0±1,2 мг/100 г в контрольной группе (P<0,01). Содержание калия в опытной группе составило 350±15 мг/100 г, что на 12,9 % выше, чем в контрольной группе – 310±14 мг/100 г (P<0,05). Статистически значимых различий по содержанию натрия между опытной и контрольной группами не установлено – 65,5±3,9 и 61,0±3,5 мг/100 г соответственно (P>0,05). Установлено, что применение бифидогенной добавки способствует улучшению аминокислотного состава мясного сырья. Суммарное содержание аминокислот увеличилось на 1,8 %, в том числе триптофана – на 6,3 % и метионина – на 2,9 %.

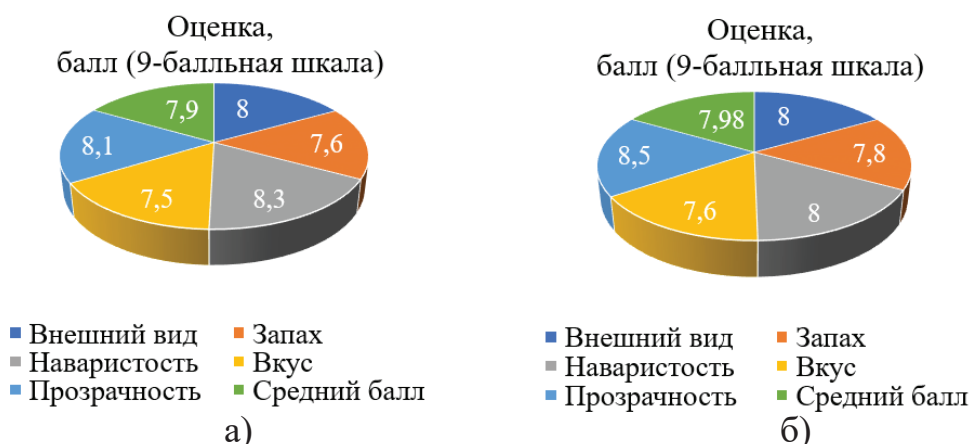
Органолептические показатели варёной баранины и бульона оценивали по 9-балльной шкале в контрольной и опытной группах.

Результаты оценки варёной баранины представлены на рисунке 4.



а) б)
Рисунок 4 – Органолептическая оценка баранины:
а) контрольная группа; б) опытная группа

Средняя оценка варёной баранины в контрольной группе составила 8,06 балла, в опытной – 8,12 балла. Различия между группами были незначительными. Органолептическая оценка бульона контрольной и опытной групп представлена на рисунке 5.



а) б)
Рисунок 5 – Органолептическая оценка бульона:
а) контрольная группа; б) опытная группа

Органолептическая оценка бульона также показала близкие значения: 7,90 балла в контрольной группе и 7,98 балла в опытной. Микробиологические показатели охлаждённого мясного сырья приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Микробиологические показатели охлаждённого мясного сырья

Наименование показателя	Значение		Норматив
	Контрольная группа	Опытная группа	
КМАФАнМ, КОЕ/г	$2,9 \times 10^2$	$2,6 \times 10^2$	$\leq 1 \times 10^3$ КОЕ/г
Бактерии вида <i>Escherichia coli</i> , в 0,1 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 0,1 г
Патогенные микроорганизмы, включая <i>Salmonella spp.</i> , в 25 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 25 г
<i>Listeria monocytogenes</i> , в 25 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 25 г
Сульфитредуцирующие бактерии рода <i>Clostridium</i> , КОЕ/0,01 г	не обнаружено	не обнаружено	не допускается в 0,01 г

Согласно данным таблицы 2, микробиологические показатели охлаждённого мясного сырья контрольной и опытной групп соответствовали требованиям ТР ТС 034/2013.

В четвёртой главе «*Теоретические и экспериментальные исследования по совершенствованию технологии производства мясных снеков и оценке их потребительских свойств*» обоснованы технологические параметры производства мясных снеков из баранины.

Для производства снеков использовалось мясное сырьё, полученное от животных опытной группы, выращенных с применением кормовой бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», и от животных контрольной группы, выращенных без неё. Технологическая схема производства мясных снеков представлена на рисунке 6.

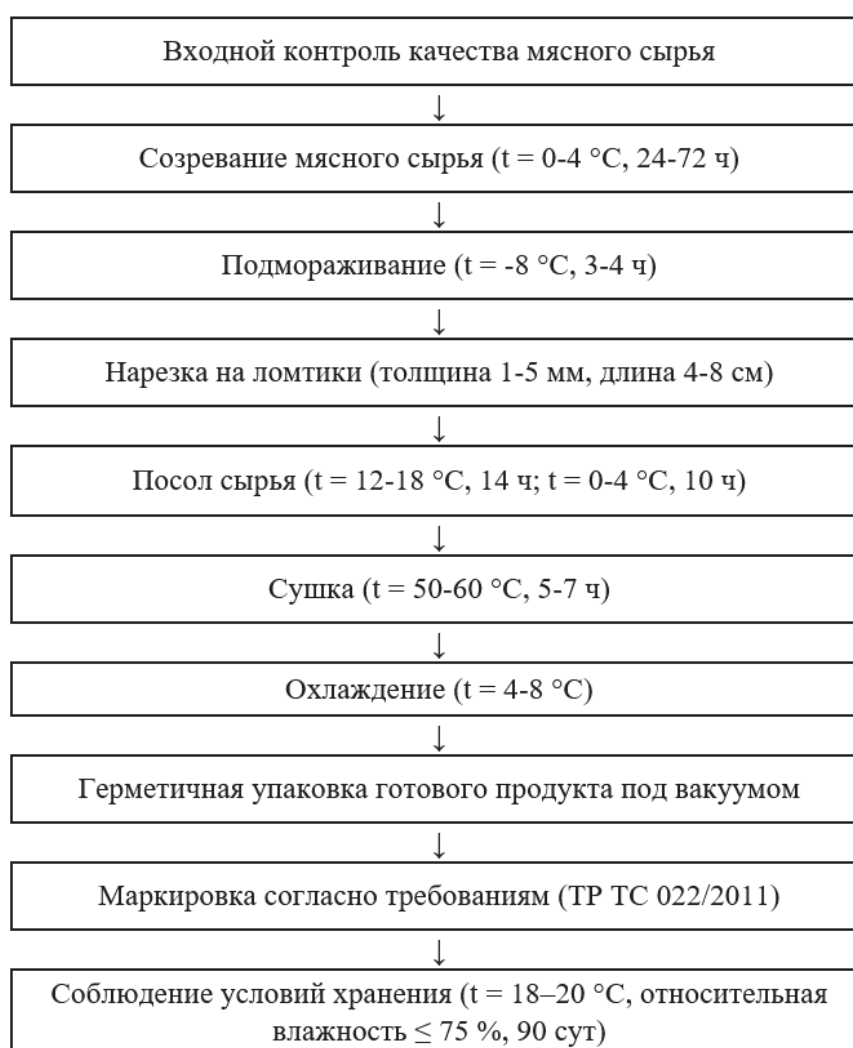


Рисунок 6 – Технологическая схема производства мясных снеков

В соответствии с представленной схемой ключевыми стадиями, определяющими формирование качества готового продукта, являлись посол и последующая сушка. В ходе двухэтапного посола оценивали изменения рН и активности воды (a_w), а также массовой доли влаги и влагосвязывающей способности. Динамика этих показателей в течение 24-часового посола

баранины представлена на рисунке 7.

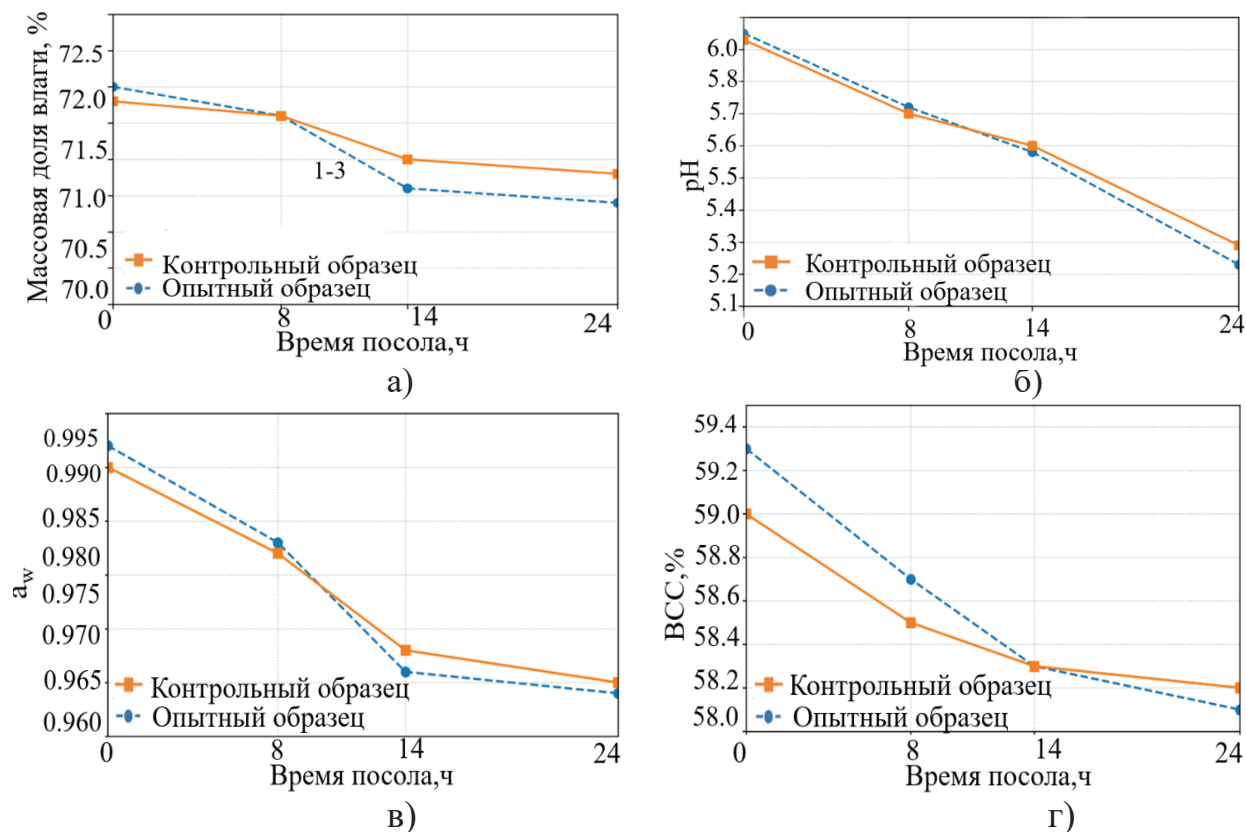


Рисунок 7 – Динамика физико-химических показателей баранины при двухэтапном посоле: а) массовая доля влаги; б) рН; в) активность воды (a_w); г) влагосвязывающая способность

Обоснование дозировок варьлируемых компонентов посолочной смеси проводилось на основе серии опытов и последующего математического моделирования. Экспериментальные данные были получены в 13 замесах мясного сырья, включавших 11 опытов и 2 повторности, при варьировании суммарной дозировки соли, сахара и стартовых культур. Каждый замес включал двухэтапный посол с последующим определением рН и активности воды (a_w).

По экспериментальным данным в Statistica 10 были построены квадратичные регрессионные модели в кодированных единицах для рН и активности воды (a_w). Дисперсионный анализ подтвердил адекватность моделей. Коэффициенты детерминации составили $R^2 = 0,984$ и $R^2 = 0,960$.

Модель регрессии для рН:

$$y = 5,539681 - 0,019468 x_1 - 0,026715 x_2 - 0,133165 x_3 - 0,002314 x_1^2 + 0,010519 x_2^2 - 0,051569 x_3^2, \quad (1)$$

Модель регрессии для активности воды (a_w):

$$y = 0,963840 - 0,004234 x_1 + 0,000017 x_2 + 0,000168 x_3 + 0,000593 x_1^2 + 0,000634 x_2^2 - 0,001035 x_3^2, \quad (2)$$

где x_1 , x_2 , x_3 – кодированные уровни содержания соли, сахара и стартовых культур «ПрестоСтарт FB-СА3» в диапазоне от -1 до $+1$.

Показано, что на изменение рН определяющее влияние оказывает дозировка стартовых культур, тогда как на a_w доминирующее влияние оказывает содержание соли.

На основе планирования эксперимента получена квадратичная модель, позволившая обосновать рациональный состав посолочной смеси на 100 г мясного сырья: 2,68 г соли, в том числе 1,718 г пищевой соли и 0,960 г нитритно-посолочной смеси (нитритной соли 0,6 %), 0,19 г сахара и 0,029 г стартовых культур. Обоснованные дозировки обеспечивали требуемый уровень рН на стадии посола, а снижение активности воды до целевых значений происходило на последующем этапе сушки.

Следующим после посола этапом технологической обработки являлась сушка. В качестве целевых предельных значений приняты массовая доля влаги ≤ 30 % и активность воды $a_w \leq 0,85$. Значения активности воды a_w и массовой доли влаги до сушки и после 7-часовой конвективной сушки при температурах 50, 55 и 60 °С приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Физико-химические показатели мясных снеков до и после 7-часовой конвективной сушки при различных температурных режимах

Наименование показателя	Группа	Значение			
		До сушки	50 °С (7 ч)	55 °С (7 ч)	60 °С (7 ч)
Влага, %	контрольная	70,9±0,5	29,10±0,35	27,8±0,3	24,10±0,28
	опытная	70,7±0,5	29,0±0,3	26,7±0,3	23,90±0,25
Активность воды (a_w)	контрольная	0,965±0,003	0,795±0,006	0,793±0,005	0,758±0,004
	опытная	0,964±0,003	0,797±0,005	0,791±0,004	0,756±0,004

Установлено, что к 7-му часу конвективной сушки значения a_w при 50 °С составили 0,795 в контрольной группе и 0,797 в опытной группе, при 55 °С – 0,793 и 0,791, при 60 °С – 0,758 и 0,756 соответственно. Во всех исследованных режимах показатель a_w оставался ниже 0,85. При 60 °С массовая доля влаги составила $24,10 \pm 0,28$ % в контрольной группе и $23,90 \pm 0,25$ % в опытной. Полученные значения находились в пределах установленного предельного уровня ≤ 30 % и свидетельствовали о достижении требуемой степени обезвоживания готового продукта.

Физико-химический состав опытного образца в расчёте на 100 г продукта составил: белок – 55,0 %, жир – 13,6 %, зола – 7,5 %. Для контрольного образца соответствующие значения составили 54,3 %, 14,6 % и 7,0 %. Энергетическая ценность составила 342,4 ккал/100 г для опытного образца и 348,6 ккал/100 г для контрольного.

Для количественной оценки совместного влияния технологических факторов и обоснования рациональных параметров сушки был проведён трёхфакторный эксперимент, спланированный по методу поверхностей отклика, где в качестве факторов рассматривались X_1 – температура 50–60 °С, X_2 – толщина ломтиков 1–5 мм, X_3 – длина ломтиков 4–8 см. По результатам эксперимента получена квадратичная регрессионная модель остаточной массовой доли влаги по окончании сушки (7 ч):

$$y_1 = 27,467 - 2,650x_1 + 0,4625x_2 + 0,3875x_3 - 0,4583x_1^2 + 0,4667x_2^2 - 0,2333x_3^2, \quad (3)$$

где x_1 , x_2 , x_3 – кодированные уровни температуры, толщины и длины ломтиков соответственно.

Модель характеризуется высоким коэффициентом детерминации ($R^2 = 0,982$), а предсказательный коэффициент (Q^2) составляет 0,92, что свидетельствует об адекватности описания процесса сушки. Анализ модели по критерию минимизации остаточной влажности при фиксированной продолжительности сушки 7 ч показывает, что оптимальными являются следующие параметры: температура 60 °С, толщина ломтиков 1 мм, длина 4 см. При данных условиях остаточная влажность составляет 23,5–24,5 %.

На основе модели регрессии построены поверхности отклика, представленные на рисунке 8.

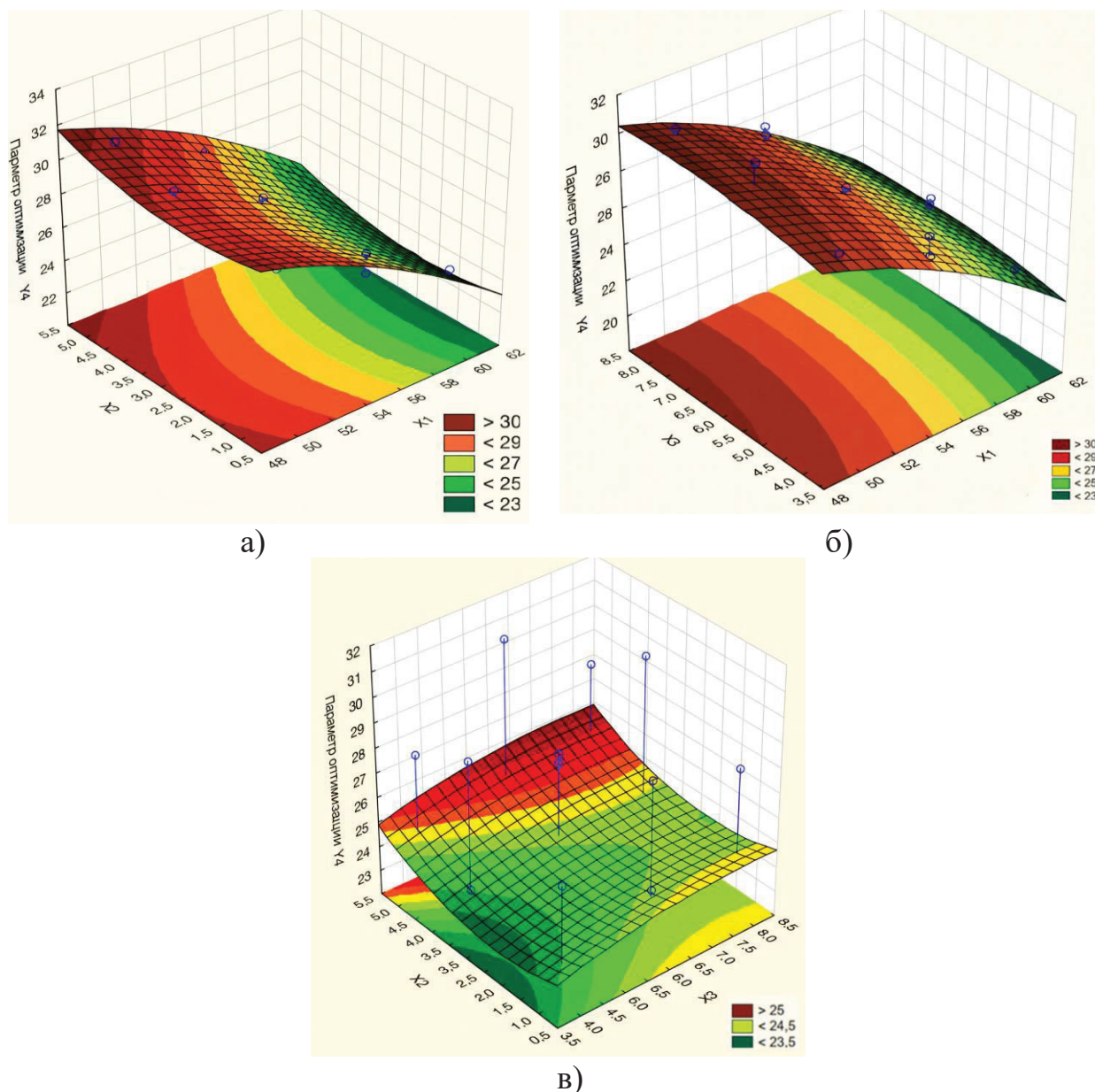


Рисунок 8 – Трёхмерные поверхности отклика, иллюстрирующие зависимость остаточной влажности продукта от технологических факторов: а) в зависимости от факторов X_1 (температура) и X_2 (толщина ломтиков); б) в зависимости от факторов X_1 (температура) и X_3 (длина ломтиков); в) в зависимости от факторов X_3 (длина ломтиков) и X_2 (толщина ломтиков)

Исследована кинетика конвективной сушки тонких ломтиков баранины толщиной 1 мм при 50–60 °С и скорости обдува около 0,5 м/с. Показано, что она адекватно описывается двухпараметрической моделью Page ($R^2 > 0,99$). Средняя интервальная скорость снижения влажности $\bar{\Gamma}_w$ при конвективной сушке тонких ломтиков баранины при температурах 50, 55 и 60 °С представлена на рисунке 9.

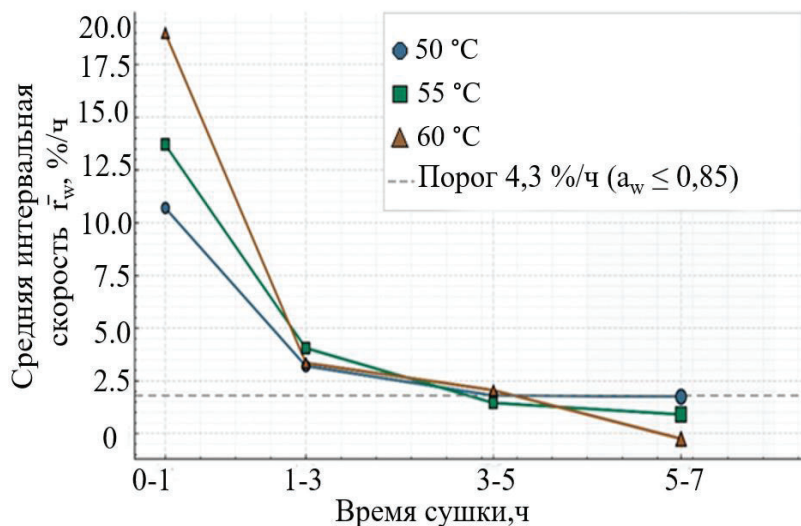


Рисунок 9 – Средняя интервальная скорость снижения влажности $\bar{\Gamma}_w$, %/ч

В качестве операционного критерия окончания сушки предложено использовать снижение средней интервальной скорости обезвоживания на интервале 5–7 часов до значения менее 4,3 %/ч, при котором достигается активность воды $a_w \leq 0,85$. Температурная зависимость D_{eff} описывается уравнением Аррениуса с энергией активации около 23,7 кДж/моль и

предэкспонентой порядка $7,6 \times 10^{-8} \text{ м}^2/\text{с}$.

Пищевая ценность мясных снеков оценена по содержанию минеральных веществ в контрольных и опытных образцах, результаты приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Минеральный состав мясных снеков из баранины

Наименование показателя	Значение				
	Контрольный образец	Опытный образец	Суточная норма (взрослые)	% от суточной нормы (контрольный образец)	% от суточной нормы (опытный образец)
Кальций, мг	23,53±0,98	35,92±1,10	1000	2,4	3,6
Магний, мг	47,29±1,62	65,18±1,90	400	11,8	16,3
Фосфор, мг	396,23±12,24	496,72±13,57	800	49,5	62,1
Калий, мг	733,29±19,11	814,70±20,38	3500	21,0	23,3
Натрий, мг	1259,40±14,55	1266,60±14,61	2300	54,8	55,1
Цинк, мг	4,12±0,16	4,46±0,16	15	27,5	29,7
Железо, мг	2,86±0,08	2,97±0,08	14	20,4	21,2

В опытном образце концентрации минеральных элементов (мг/100 г) превышали значения контрольного образца: кальция – на 52,7 %, магния – на 37,8 %, фосфора – на 25,4 %, калия – на 11,1 %, натрия – на 0,6 %, цинка – на 8,3 %, железа – на 3,8 %.

Витаминно-минеральный состав мясных снеков (опытный образец) после 3 месяцев хранения приведён в таблице 5.

Таблица 5 – Витаминно-минеральный состав мясных снеков (опытный образец) после 3 месяцев хранения

Наименование показателя	Значение		
	Опытный образец	Через 3 месяца хранения	Потери, %
Магний, мг	65,18±1,90	58,21±1,70	10,71
Фосфор, мг	496,72±13,57	459,76±12,57	7,4
Кальций, мг	35,92±1,10	28,80±0,88	19,84
Калий, мг	814,70±20,38	672,90±16,84	17,4
Натрий, мг	1266,60±14,61	1136,50±13,11	10,3
Цинк, мг	4,46±0,16	3,91±0,14	12,4
Железо, мг	2,97±0,08	2,63±0,07	11,45
В1 (тиамин), мг	0,15±0,03	0,125±0,025	16,5
В2 (рибофлавин), мг	0,38±0,08	0,35±0,07	7,89
В3 (ниацин), мг	6,9±1,4	6,27±1,27	9,1
В5 (пантотеновая кислота), мг	0,45±0,07	0,37±0,06	17,78
В6 (пиридоксин), мг	0,26±0,04	0,22±0,03	15,4
В9 (фолиевая кислота), мкг	32,5±3,8	27,1±3,2	16,7

Выявлено, что через 3 месяца хранения потери макро- и микроэлементов, а также водорастворимых витаминов группы В составили менее 20 %.

Результаты определения перекисного и кислотного чисел мясных снеков на 0-е и 90-е сутки хранения приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Показатели окислительной порчи мясных снеков из баранины в процессе хранения

Срок хранения, сут	Значение				Норматив	
	Контрольный образец		Опытный образец			
	Кислотное число, мг КОН/г	Перекисное число, ммоль O ₂ /кг	Кислотное число, мг КОН/г	Перекисное число, ммоль O ₂ /кг	Кислотное число, мг КОН/г, не более	Перекисное число, ммоль O ₂ /кг, не более
0	0,22±0,04	0,64±0,04	0,24±0,04	0,61±0,04	4,0	10,0
90	2,92±0,10	3,16±0,12	2,97±0,10	3,12±0,12		

Установлено, что в процессе хранения мясных снеков из баранины значения кислотного числа (показатель степени гидролиза липидов) и перекисного числа (показатель начальной стадии их окисления) незначительно увеличивались. По истечении 90 суток хранения кислотное число составило 2,97±0,10 мг КОН/г жира в опытном образце и 2,92±0,10 мг КОН/г жира в контрольном образце, а перекисное число составило 3,12±0,12 и 3,16±0,12 ммоль O₂/кг соответственно. Полученные значения не превышали гигиенические нормативы – 4,0 мг КОН/г жира и 10,0 ммоль O₂/кг. После 90 суток хранения при 18–20 °С в мясных снеках не выявлены БГКП (в том числе *Escherichia coli*),

Staphylococcus aureus, сульфитредуцирующие бактерии рода *Clostridium*, *Salmonella spp.* и *Listeria monocytogenes*.

В пятой главе «Экономическая эффективность производства мясных снеков из баранины» приведены результаты экономической оценки производства по технологической цепочке «сырьё – продукт». Основные показатели экономической эффективности представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Основные экономические показатели

Наименование показателя	Значение	
	Контрольная группа	Опытная группа
Полная себестоимость формирования сырьевой базы, руб.	277 494,33	285 147,63
Себестоимость 1 кг мясного сырья, руб./кг	843,96	789,88
Полная себестоимость технологического цикла снеков, руб.	392 745,00	404 535,65
Себестоимость 1 кг снеков, руб./кг	3 151,67	2 956,72

Снижение себестоимости 1 кг мясного сырья было обусловлено увеличением мышечной массы животных в опытной группе за счёт применения бифидогенной добавки «ЛактуВет-1». Поскольку мясное сырьё составляло основную долю затрат при изготовлении снеков, снижение расходов на его получение в сочетании с более высоким выходом готовой продукции обеспечило уменьшение себестоимости 1 кг снеков. При фиксированной цене реализации 3 250 руб./кг это привело к увеличению прибыли на 1 кг продукции и росту рентабельности производства. Рентабельность производства снеков составила 9,92 % в опытной группе и 3,12 % в контрольной группе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе научно и экспериментально обоснована целесообразность прижизненного формирования макроэлементного профиля мышечной ткани овец эдильбаевской породы с использованием бифидогенной добавки «ЛактуВет-1», а также усовершенствована технология производства мясных снеков из полученного мясного сырья.

1. Анализ научной, научно-технической и патентной литературы выявил недостаточную экспериментальную проработанность вопросов прижизненного формирования нутритивных характеристик мышечной ткани, а также недостаточную обоснованность режимов посола и конвективной сушки мясных снеков из обогащённого сырья. Показано, что применение пребиотических и пробиотических добавок способствует повышению стабильности технологических свойств мясного сырья, а качество и безопасность снеков в решающей степени определяются посолом, сушкой и использованием стартовых культур. Следовательно, требуется комплексное исследование технологической цепочки «сырьё – продукт» с оценкой сохранности сформированных показателей.

2. Установлено, что включение бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в рацион овец эдильбаевской породы сопровождалось увеличением массы мясного сырья, что выражалось в увеличении массы мякоти с $16,44 \pm 0,19$ до $18,05 \pm 0,16$ кг, то есть на 9,8 % ($P < 0,001$), а также ростом предубойной массы животных с $46,44 \pm 0,35$ до $48,62 \pm 0,31$ кг, то есть на 4,7 % ($P < 0,01$). При применении добавки «ЛактуВет-1» (лактоулоза + Ca, Mg, K, P) отмечено повышение содержания макроэлементов в мышечной ткани опытной группы: кальция – на 55,1 % ($P < 0,001$), магния – на 40,0 % ($P < 0,01$), фосфора – на 27,3 % ($P < 0,01$), калия – на 12,9 % ($P < 0,05$). На уровне химического состава баранины показано снижение доли жира на 6,58 % ($P < 0,05$) при одновременном росте содержания белка на 1,55 % и золы на 14,29 %. Суммарное содержание аминокислот увеличилось на 1,8 %, в том числе триптофана – на 6,3 % и метионина – на 2,9 %.

3. Усовершенствована рецептура посолочной смеси и уточнены параметры технологического процесса производства мясных снеков из обогащённой баранины. На основе планирования эксперимента получена квадратичная модель, позволившая обосновать рациональный состав посолочной смеси: 2,68 г/100 г соли, в том числе 1,718 г соли пищевой и 0,960 г нитритно-посолочной смеси (нитритной соли 0,6 %), 0,19 г/100 г сахара, 0,029 г/100 г стартовых культур. После сушки в течение 7 ч при 60 °С опытный образец характеризовался более высокой массовой долей белка и золы и более низкой массовой долей жира по сравнению с контрольным образцом: белок – 55,0 % и 54,3 %, зола – 7,5 % и 7,0 %, жир – 13,6 % и 14,6 % соответственно. Энергетическая ценность опытного образца составляет 342,4 ккал/100 г, а контрольного – 348,6 ккал/100 г. Потери макро- и микроэлементов после сушки и последующего трёхмесячного хранения при 18–20 °С не превышают 20 %. Опытный образец сохраняет статистически значимое преимущество по кальцию (+52,7 %), магнию (+37,8 %), фосфору (+25,4 %) и калию (+11,1 %) по сравнению с контрольной группой.

4. Получена и проверена на адекватность квадратичная регрессионная зависимость остаточной массовой доли влаги, рассчитанная по результатам трёхфакторного плана с использованием метода поверхностей отклика. В качестве критерия оптимизации принята минимизация остаточной массовой доли влаги. Определён рациональный режим при продолжительности процесса 7 ч: температура 60 °С, толщина ломтиков 1 мм, длина 4 см. При указанных параметрах остаточная массовая доля влаги составляет 23,5–24,5 %, что соответствует минимальным значениям показателя в пределах исследованной области факторов и может быть рекомендовано для производства мясных снеков. Сенсорный анализ не выявил ухудшения органолептических показателей: оба образца получили высокие оценки, при этом опытный образец отличался более выраженным пряным ароматом и сбалансированным мясным вкусом. Микробиологический контроль подтверждает отсутствие патогенной и условно-патогенной микрофлоры (*Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Clostridium*) после трёх месяцев хранения.

5. В результате проведённых теоретических исследований установлены закономерности массообмена при конвективной сушке мясных снеков из баранины, описана кинетика обезвоживания и обоснован критерий окончания процесса по достижении целевого значения активности воды. Показано, что кинетика изменения безразмерного влагосодержания для тонких ломтиков баранины толщиной 1 мм при скорости обдува около 0,5 м/с в исследованном температурном диапазоне корректно описывается тонкослойными эмпирическими зависимостями. Наилучшее соответствие с экспериментальными данными демонстрирует модель Page. Температурная зависимость эффективного коэффициента диффузии влаги D_{eff} удовлетворительно аппроксимируется уравнением Аррениуса с энергией активации 23,7 кДж/моль, предэкспоненциальным множителем $D_0 = 7,59 \times 10^{-8}$ м²/с. На основе анализа кинетических кривых обоснован технологический критерий окончания сушки: снижение средней скорости обезвоживания на интервале 5–7 часов ниже 4,3 %/ч соответствует достижению активности воды $a_w \leq 0,85$, что обеспечивает микробиологическую стабильность продукта и может быть использовано для автоматизации остановки процесса.

6. По результатам расчёта экономической эффективности установлено, что включение бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» в рацион овец эдильбаевской породы и последующая переработка полученной баранины в мясные снеки являются экономически целесообразными. По сравнению с контрольной группой выявлено снижение себестоимости 1 кг мясного сырья с 843,96 до 789,88 руб./кг (на 54,08 руб./кг), а также снижение себестоимости 1 кг мясных снеков с 3 151,67 до 2 956,72 руб./кг (на 194,95 руб./кг). Суммарная масса мясного сырья увеличилась на 32,2 кг (с 328,8 до 361,0 кг), а выход готовой продукции – на 12,204 кг (с 124,615 до 136,819 кг). При цене реализации 3 250 руб./кг расчётная прибыль от реализации партии снеков опытной группы составляет 40 126,10 руб. при рентабельности 9,92 %, тогда как в контрольной группе прибыль составляет 12 253,75 руб. при рентабельности 3,12 %. Полученные результаты подтверждают целесообразность внедрения технологии прижизненного формирования минерального профиля мышечной ткани с использованием бифидогенной добавки «ЛактуВет-1».

7. Разработана техническая документация на продукт – СТО 00493497-083-2025 (технологическая инструкция, рецептура). В рамках учебно-научно-производственного комплекса «Пищевик» была осуществлена промышленная апробация мясных снеков на базе ФГБОУ ВО Вавиловский университет.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Кормовую добавку «ЛактуВет-1» целесообразно включать в рацион овец эдильбаевской породы не менее чем за 30 суток до убоя, добавляя её к используемому комбикорму. При составлении рационов соотношение кормовых компонентов и энергетическую ценность сохраняют неизменными.

2. Для обеспечения стабильных органолептических свойств мясных снеков из баранины рекомендуется применять двухэтапный посол со стартовыми культурами.

3. Режим конвективной сушки мясных снеков рекомендуется устанавливать при температуре 60 °С, толщине ломтиков 1 мм и длине 4 см, при продолжительности процесса порядка 7 ч, до достижения остаточной влажности 23,5–24,5 % и активности воды $a_w \leq 0,85$.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Актуальны дальнейшие исследования, направленные на совершенствование прижизненного формирования минерального профиля мышечной ткани с использованием минеральных кормовых добавок, включая уточнение схем и дозировок «ЛактуВет-1» и её аналогов для различных видов и пород животных. Перспективна апробация полученных результатов в технологиях производства других видов мясной продукции длительного хранения (сыровяленых и сырокопчёных изделий, деликатесов), ориентированных на повышение пищевой ценности.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ

В научных изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. **Горбанов, И. А.** Анализ макроэлементного профиля мясных снеков из прижизненно обогащённой баранины / И. А. Горбанов, Т. М. Гиро // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. – 2025. – № 1. – С. 59–63.

2. **Горбанов, И. А.** Оценка безопасности баранины для производства мясных снеков после применения кормовой добавки «ЛактуВет-1» в рационе животных / И. А. Горбанов, Т. М. Гиро // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2025. – Т. 87. – № 1. – С. 86–92.

В журналах, сборниках научных трудов, материалах конференций и семинаров

3. Гиро, Т. М. Технология производства мясных снеков из баранины / Т. М. Гиро, **И. А. Горбанов** // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. – 2025. – № 2 (80). – С. 486–494.

4. Гиро, Т. М. Оптимизация производства мелкого рогатого скота, выращиваемого с использованием в рационе бифидогенной добавки / Т. М. Гиро, **И. А. Горбанов**, Х. И. Саидмуродов // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2025. – № 3. – С. 27–32.

5. **Горбанов, И. А.** Разработка снелков из обогащённого мясного сырья баранчиков, получавших в рационе кормовую добавку «ЛактуВет-1» / И. А. Горбанов, Т. М. Гиро // Общество. – 2025. – № 1(36). – С. 51–53.

6. **Горбанов, И. А.** Влияние обогащённых кормовых рационов на гематологические и биохимические показатели крови баранчиков / И. А. Горбанов, Т. М. Гиро // Студенческий вестник. – 2024. – № 1–6 (287). – С. 30–32.

7. **Gorbanov, I.** The effect of diets enriched with Lactuvet-1 feed additive on the productivity of rams and the quality of meat / I. Gorbanov, T. M. Giro // Студенческий вестник. – 2023. – № 13–8 (252). – С. 37–38.

8. Гиро, Т. М. Продуктивные качества и иммунобиологический статус баранчиков при использовании бифидогенной кормовой добавки «Лактувет-1» в рационе / Т. М. Гиро, **И. А. Горбанов**, В. В. Светлов, А. В. Кудинов, М. И. Сложенкина // Инновационные подходы к развитию устойчивых аграрно-пищевых систем: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Волгоград, 2022). – Волгоград: [б. и.], 2022. – С. 308–311.

9. **Горбанов, И. А.** Влияние специализированной кормовой добавки на формирование мясных характеристик баранины и оценка её потенциала в производстве обогащённых пищевых продуктов / И. А. Горбанов, Т. М. Гиро // Биотехнология: взгляд в будущее: материалы XI Международной научно-практической конференции. – Ставрополь: Ставропольский государственный медицинский университет, 2025. – С. 65–67.

10. Гиро, Т. М. Оценка экологической безопасности баранины от животных, выращенных с использованием в рационе бифидогенной добавки / Т. М. Гиро, **И. А. Горбанов**, М. Х. Хакимова, Ж. Ж. Аллаяров, Х. Саидмуродов // Материалы международной научно-практической конференции Turli turpoq-iqlim sharoitida organik qishloq hojaligi mahsulotlari yetishtirishda innovatsion texnologiyalarni qo'llashning dolzarbligi (11–12 июня 2024 г., г. Карши), 2024. – С. 18–21.

11. Гиро, Т. М. Анализ жирнокислотного состава жира баранчиков, выращенных с использованием бифидогенной добавки «ЛактуВет-1» / Т. М. Гиро, **И. А. Горбанов** // Научно-технические приоритеты развития АПК России. – Рязань, 2025. – С. 130–134.

12. Гиро, Т. М. Лабораторная оценка влияния кормовой добавки «ЛактуВет-1» на безопасность мясного сырья баранины для производства пищевой продукции / Т. М. Гиро, **И. А. Горбанов** // Пищевые инновации и биотехнологии: сборник тезисов XIII Всероссийской (национальной) научной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных. – Кемерово, 2025. – С. 243–245.

13. **Горбанов, И. А.** Исследование влияния пробиотической добавки на физико-химические свойства мяса баранчиков / И. А. Горбанов // Молодой исследователь: вызовы и перспективы: сборник статей по материалам СССХLI международной научно-практической конференции. – Москва, 2024. – С. 146–148.