

На правах рукописи



**Стахурлова Анастасия Александровна**

**ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СПОСОБА  
ПРИМЕНЕНИЯ АМАРАНТА В ТЕХНОЛОГИИ  
ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Специальность: 05.18.01 -

Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур,  
крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата технических наук**

Воронеж – 2021

Диссертационная работа выполнена на кафедре технологии и товароведения федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I»

<b>Научный руководитель</b>	<b>Дерканосова Наталья Митрофановна,</b> доктор технических наук, профессор, врио проректора по учебной работе, заведующая кафедрой товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ
<b>Официальные оппоненты:</b>	<b>Жаркова Ирина Михайловна,</b> доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии хлебопекарного, кондитерского, макаронного и зерноперерабатывающего производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий»; <b>Хмелева Евгения Викторовна,</b> кандидат технических наук, доцент кафедры технологии продуктов питания и организации ресторанного дела ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
<b>Ведущая организация:</b>	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова», г.Саратов

Защита состоится 24 декабря 2021 года в 10<sup>00</sup> на заседании диссертационного совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.183.05 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» (<http://oreluniver.ru>).

Объявление о защите диссертации и автореферат диссертации размещены на официальном сайте ФГБОУ ВО «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева» <http://oreluniver.ru> и в сети Интернет на сайте Министерства науки и высшего образования РФ: <http://vak.minobrnauki.gov.ru> 22 октября 2021 года.

Отзывы на автореферат можно направлять по адресу: 302026, г. Орёл, ул. Комсомольская д. 95.

Автореферат разослан 27 октября 2021 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, к.т.н., доцент



А.П. Симоненкова

## Общая характеристика работы

**Актуальность темы исследования.** Одной из основных задач «Стратегии повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 г.» является увеличение доли производства продуктов массового потребления, обогащённых витаминами, минеральными веществами, пищевыми волокнами и другими нутриентами.

Хлебобулочные изделия занимают важное место в питании населения, являясь одним из основных продуктов питания. Вместе с тем они не отличаются физиологической ценностью - характеризуются высоким содержанием углеводов и дефицитом других нутриентов: пищевых волокон, ряда витаминов и минеральных веществ, что способствует несбалансированности рационов питания населения.

В связи с этим, актуальным является повышение пищевой и биологической ценности хлебобулочных изделий, расширение ассортимента обогащенных хлебобулочных изделий посредством применения нетрадиционных, но перспективных по своему составу растительных источников.

**Степень разработанности темы.** Исследование применения нетрадиционного для хлебопечения сырья, разработка новых рецептур и технологий представляют большой теоретический и практический интерес. Благодаря заинтересованности государства и населения, создается ряд предпосылок к расширению ассортимента, повышению пищевой и биологической ценности, сбалансированности составов, вкусовых достоинств хлебобулочных изделий.

Существенный теоретический и практический вклад в исследования по данному направлению внесли такие отечественные ученые, как Р.Д. Поландова, Л.И. Пучкова, В.Я. Черных, Н.В. Лабутина, С.Я. Корячкина, Л.П. Пащенко, Ю.Ф. Росляков, Г.О. Магомедов, Е.А. Кузнецова, Л.И. Кузнецова, И.М. Жаркова, Л.А. Мирошниченко и др., в области экструзионной технологии и использования продуктов ее переработки – А.Н. Остриков, В.Д. Малкина, О.В. Смирнов и др.

Несмотря на существующие разработки, на потребительском рынке по-прежнему отмечается дефицит обогащенных хлебобулочных изделий. Поэтому изучение свойств перспективного обогащающего сырья, его влияния на традиционные рецептуры и технологии хлебобулочных изделий подтверждает актуальность проводимых исследований.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследований является решение комплекса научно-практических задач, направленных на разработку технологии обогащенного хлебобулочного изделия с использованием экструдата амаранта.

В рамках поставленной цели решались следующие **задачи**:

- анализ современных направлений применения амаранта и продуктов его переработки в технологии хлебобулочных изделий;

- исследование предпочтений и лояльности потребителей относительно обогащенных хлебобулочных изделий – как обоснование направления исследований;

- скрининг сортов амаранта, как перспективного сырьевого ингредиента хлебобулочных изделий;

- изучение органолептических, физико-химических, функционально-технологических свойств экструдата амаранта;

- обоснование функциональности экструдата амаранта на основе изучения сорбции двухвалентных металлов;

- обоснование функциональных свойств экструдата амаранта на лабораторных животных;

- изучение влияния экструзии на состав зерна амаранта методом ИК-спектроскопии;

- изучение хлебопекарных и реологических свойств модельных мучных смесей с экструдатом амаранта;

- математическое моделирование соотношения мучных ингредиентов обогащенного хлеба с экструдатом амаранта;

- разработка рецептуры хлеба, исследование влияния муки из экструдата амаранта на созревание теста и качество готовых изделий;

- апробация разработанных способов и рецептурных составов в опытно-промышленных условиях; разработка нормативной и технической документации на новый вид продукции.

**Научная новизна.** Диссертационная работа содержит элементы научной новизны в рамках пунктов 2,6 паспорта специальности.

Установлена лояльность потребителей к обогащенным хлебобулочным изделиям.

Проведен скрининг сортов амаранта с позиций обогащающего сырьевого ингредиента. Для применения в технологии хлебобулочных изделий из сортовой пшеничной муки обоснован выбор амаранта сорта Универсал.

Теоретически и экспериментально обосновано применение муки из экструдата амаранта как обогащающего сырьевого ингредиента хлебобулочных изделий. Получены инфракрасные спектры поглощения цельносмолотой муки и муки из экструдата амаранта. Изучено влияние амаранта различных сортов и способов обработки на физиологию лабораторных животных. Установлена способность экструдата амаранта сорбировать ионы тяжелых металлов. Изучены функционально-технологические характеристики муки из экструдата амаранта, влияние экструдата амаранта на хлебопекарные и реологические свойства мучных смесей.

Применительно к задаче обоснования рецептурного состава обогащенного хлеба разработана методика расчета структуры многокомпонентной хлебопекарной смеси для производства обогащенных изделий, учитывающая нестабильность содержания нутриентов, и

обеспечивающая выполнение технологических требований с учетом предпочтений потребителей.

**Практическая значимость работы.** На основании проведенных исследований:

- обоснована перспективность экструдата из амаранта сорта Универсал как обогащающего ингредиента хлебобулочных изделий;

- разработана технология хлеба с мукой из экструдата амаранта, который может быть идентифицирован как источник белка, пищевых волокон и кальция;

- разработаны комплекты нормативных и технических документов на муку из экструдата амаранта и хлеб с экструдатом амаранта – стандарт организации СТО 00492894-004-2020 Мука из экструдата амаранта и СТО 00492894-005-2020 Хлеб белый амарантовый, РЦ 00492894-005-2020 Хлеб белый амарантовый.

**Методология и методы исследования.** Методологическая основа диссертационной работы базируется на общенаучных и специальных методах исследований.

При выполнении работы использовались современные теории, концепции, методики и средства проведения исследований, связанные с вопросами разработки, производства и оценки качества ингредиентов и хлебобулочных изделий с повышенными потребительскими свойствами.

**Положения, выносимые на защиту:**

Теоретическое и экспериментальное обоснование применения муки из экструдата амаранта сорта Универсал, как обогащающего сырьевого ингредиента хлебобулочных изделий.

Результаты изучения инфракрасных спектров цельносмолотого и экструдированного зерна амаранта, состава, сорбционных, функционально-технологических свойств экструдата амаранта, хлебопекарных и реологических свойств мучных смесей из пшеничной муки и муки из экструдата амаранта. Результаты исследования амаранта и экструдата амаранта методом *in vivo*.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований обогащенного хлеба с экструдатом амаранта.

**Степень достоверности результатов исследования** подтверждается проведением экспериментальных исследований в многократной повторности по утвержденным методикам, в том числе с применением статистического и математического анализа при доверительной вероятности 0,95. Выводы и заключения исследования отвечают теоретическим закономерностям, описанным в фундаментальной литературе исследуемой области. Основные результаты отражены в рецензируемых научных изданиях, закреплены актами промышленных испытаний.

**Апробация результатов.** Основные положения диссертационной работы докладывались на научных и научно-практических конференциях международного и национального уровня.

Опытные образцы экструдата амаранта, муки из экструдата и хлеба белого с мукой их экструдата амаранта демонстрировались и отмечены дипломами и медалями на региональных выставках «АГРОСЕЗОН» в 2017 г., 2018 г., 2020 г.; «ВОРОНЕЖАГРО-2018».

Результаты исследования апробированы в опытно-промышленных условиях учебно-научно-производственного комплекса «Агропереработка» ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ.

**Публикации.** По материалам исследования опубликовано 35 работ, в том числе 3 с индексацией базами Scopus и Web of Science, 3 в научных журналах, рекомендуемых ВАК.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы и 12 приложений. Текст диссертационной работы изложен на 166 страницах. Основная часть работы содержит 46 рисунков и 45 таблиц. Список литературы включает 225 наименований, в том числе 30 иностранных источников.

### **Основное содержание работы**

*В первой главе* рассмотрена проблема несбалансированности рационов питания населения. Проанализировано состояние отечественного и мирового рынка обогащенной хлебобулочной продукции. Дана характеристика амаранта с позиций переработки его частей и их свойств. Приведен обзор работ отечественных и зарубежных ученых в области применения амаранта в пищевых продуктах на основе муки.

*Во второй главе* описывается организация диссертационного исследования, его объекты и методы.

Основная часть теоретических и экспериментальных исследований по теме диссертации проводилась в период с 2016 по 2020 год в условиях кафедры товароведения и экспертизы товаров ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Дополнительно работы выполнялись на базе кафедры технологии жиров, процессов и аппаратов химических и пищевых производств ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» (ВГУИТ), в условиях лабораторий и испытательных центров ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии (ФГБНУ ВНИВИПФиТ), Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет» (ЦКПНО), ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева» (ФГБНУ НИИСХЦЧП им. В.В. Докучаева), а также на базе Центра пищевых технологий Университета Восточного Сараево, республика Босния и Герцеговина.

Схема исследования приведена на рисунке 1.

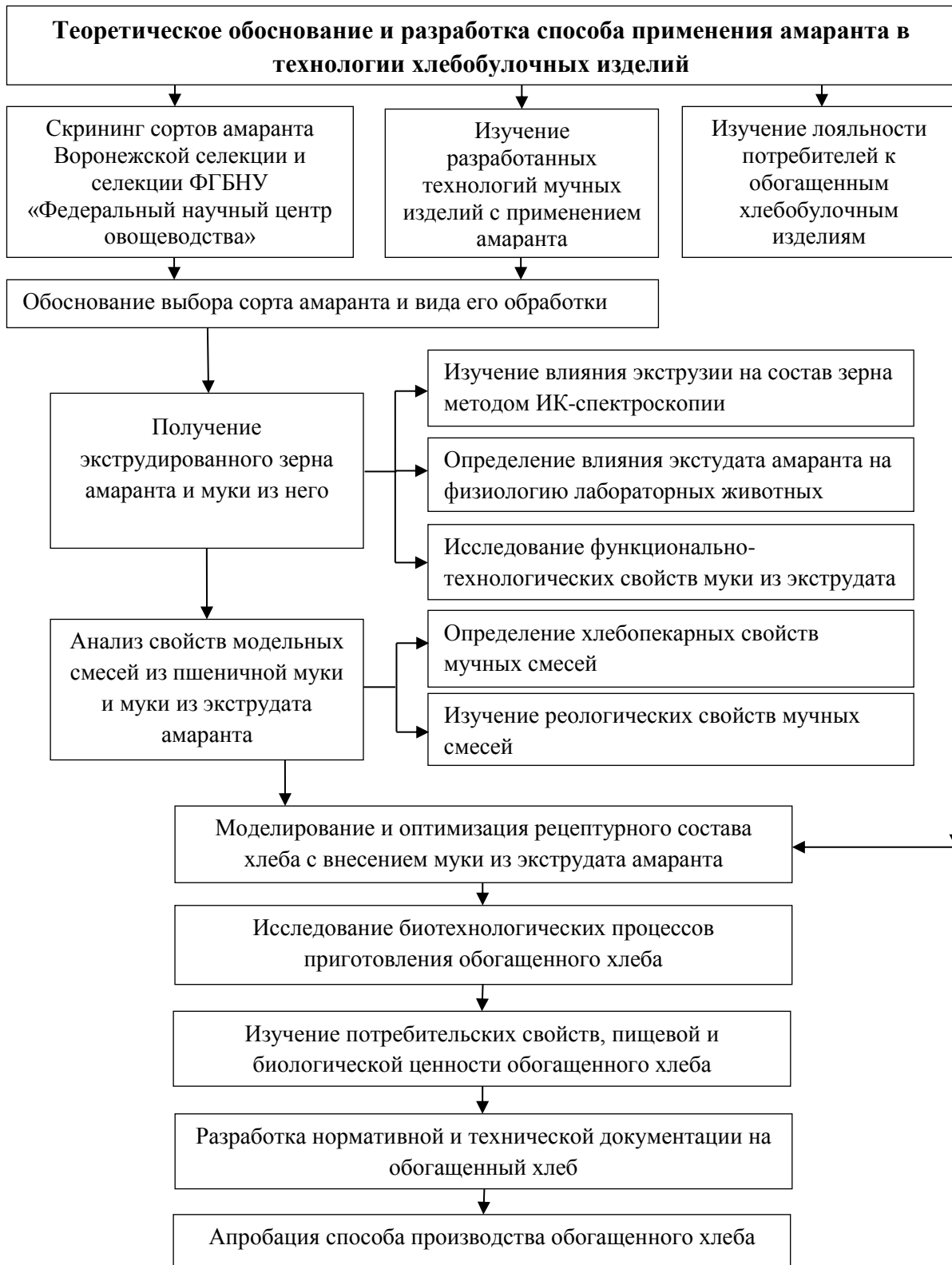


Рисунок 1 – Схема исследования

Объектами маркетинговых исследований явились результаты опроса жителей г.Воронежа относительно предпочтений хлебобулочных изделий. Объектами основной части диссертационного исследования на различных этапах являлись зерно амаранта, мука из экструдата амаранта, мучные смеси

муки пшеничной хлебопекарной высшего и первого сортов с амарантовой мукой из экструдата амаранта, лабораторные пробы хлеба.

В работе использовались стандартные или общепринятые методы анализа.

**В третьей главе** представлены результаты изучения отношения потребителей к обогащенным хлебобулочным изделиям. По данным проведенного опроса подтверждена высокая частота потребления хлебобулочных изделий, в частности хлеба. Практически половина опрошенных периодически покупает, либо покупает только обогащенный хлеб. Большая часть респондентов согласна на повышение цены обогащенной продукции (77% респондентов). По их мнению, стоит развивать следующие направления обогащения – обогащение витаминами и минеральными веществами (31,5%), обогащение пищевыми волокнами (31%), белковыми веществами (14%).

С помощью программы IBM SPSS Statistics 26.0 построены таблицы сопряженности пар факторов, которые позволили исследовать удовлетворенность ассортиментом хлебобулочных изделий в зависимости от вида потребляемого изделия.

Таким образом, результат изучения предпочтений респондентов подтверждает целесообразность исследований в области обогащения хлеба минеральными веществами, пищевыми волокнами и белком.

**В четвертой главе** изложены результаты исследования по обоснованию выбора сорта амаранта и экструзии в качестве его обработки.

В работе анализировали сорта амаранта Воронежской селекции и селекции ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»: Воронеж-36, Воронеж, Император, Рубин, Универсал, Гигант, Добрыня, Валентина. Сравнительная характеристика зерна исследованных сортов амаранта приведена в таблицах 1 и 2.

Таблица 1– Результаты изучения состава зерна амаранта

Сорт амаранта	Массовая доля, %					Зольность в пересчете на СВ, %
	влаги	белка	жира	клетчатки	моно- и дисахаридов	
Воронежский-36	10,1	15,78	6,4	6,9	2,5	2,98
Воронежский	10,5	16,21	6,3	5,7	2,4	3,41
Император	10,2	19,57	11,7	7,5	2,4	3,99
Рубин	11,4	20,66	9,8	7,1	2,7	4,75
Универсал	9,4	26,47	13,8	8,9	4,1	8,08
Гигант	10,1	19,29	10,3	7,1	2,9	3,03
Добрыня	10,9	16,79	7,2	16,3	2,4	4,33
Валентина	11,6	16,10	6,9	19,4	2,6	6,04



Таблица 2 – Состав минеральных веществ зерна амаранта

Сорт амаранта	Содержание					
	фосфора, %	кальция, %	меди, мг/кг	железа, мг/кг	цинка, мг/кг	марганца, мг/кг
Воронежский-36	0,46	0,17	8,6	110	32,5	52
Воронежский	0,54	0,24	7,2	77	35,8	55
Император	0,45	0,25	7,2	82	31,0	51
Рубин	0,55	0,17	6,1	73	30,8	51
Универсал	0,63	0,36	13,0	90	30,9	45
Гигант	0,54	0,20	14,9	77	32,7	29
Добрыня	0,50	0,36	8,1	72	28,2	47
Валентина	0,46	0,48	5,4	76	31,3	82

Полученные результаты показали широкое варьирование состава амаранта в зависимости от сорта. На основании ряда факторов – содержания белковых, минеральных веществ, светлого окраса зерна, урожайности – для обогащения хлебобулочных изделий, был выбран сорт Универсал (Оригинатор и патентообладатель - ИП Саратовский Л.И.).

Экструдат получали на лабораторном универсальном малогабаритном экструдере (ЭУМ-1) при температуре 110-120 °С, продолжительности 30-40 с, частоте вращения основного шнека  $38,2 \pm 2,0 \text{ с}^{-1}$ , шнека-дозатора –  $11,4 \pm 1,0 \text{ с}^{-1}$ , диаметре выходного отверстия матрицы 3 мм. Муку из экструдата получали различной крупности помола.

Проведено исследование фракционного состава зерна амаранта при экструзии методом ИК-спектроскопии. На рисунке 2 представлены ИК-спектры поглощения цельносмолотого зерна и муки из экструдата амаранта.

Спектральный анализ свидетельствует о частичном разрушении структуры белковых компонентов, что обосновывает повышение усваивания белка. Структура пищевых волокон практически не претерпевает изменений, что позволяет рассматривать экструдат как обогащающий пищевыми волокнами ингредиент.

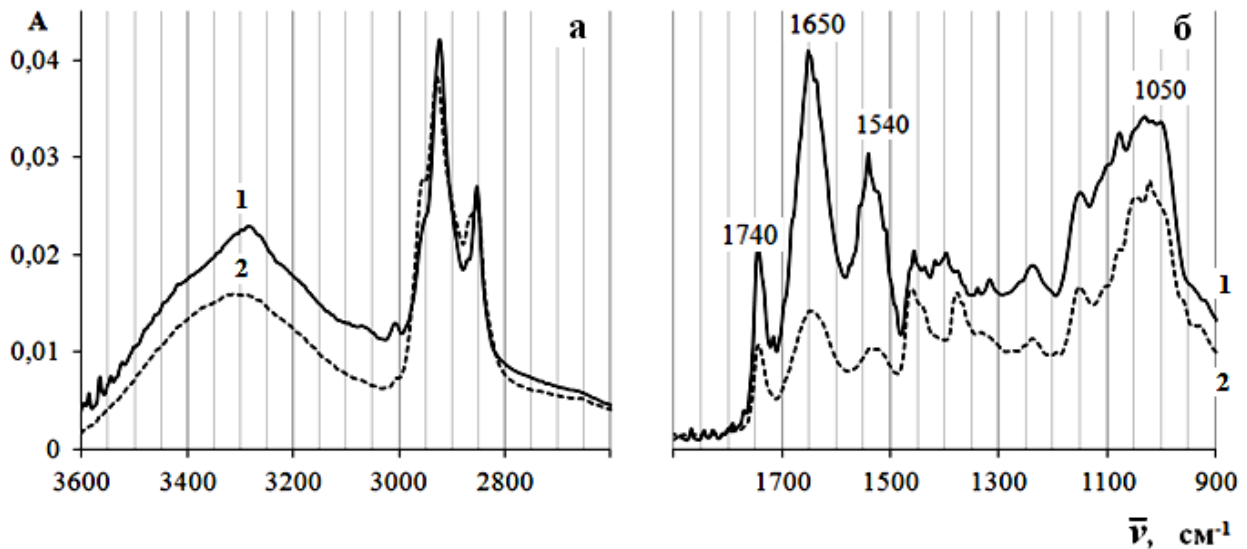


Рисунок 2 – ИК-спектры поглощения (а,б) проб: 1 – амаранта сорта Универсал, 2 – экструдата амаранта сорта Универсал

Изучено воздействие амаранта на физиологию лабораторных животных – белых половозрелых самцов крыс линии Wistar. Тестировали контрольную и несколько опытных групп – с внесением в основной корм (овес и ячмень) части зерна амаранта сорта Валентина, зерна амаранта сорта Универсал, части экструдата зерна сорта Универсал. У опытных групп наблюдалась прибавка в весе, нормализация показателей крови и обменных процессов в организме. Гистологическое исследование печени, желудка и почек также подтвердили благоприятное воздействие вносимых кормов на физиологическое состояние лабораторных животных, что может свидетельствовать о функциональных свойствах цельносмолотого зерна и экструдата амаранта.

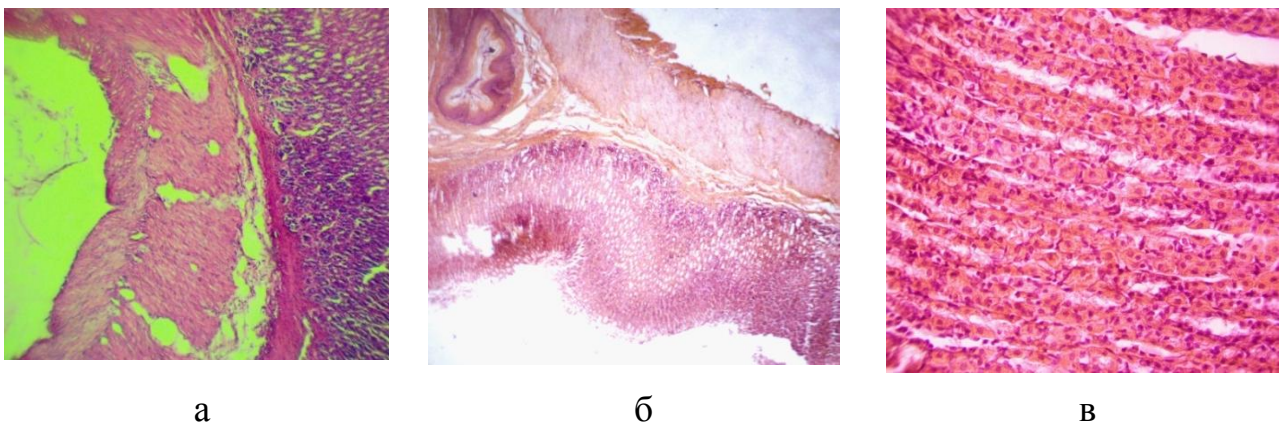


Рисунок 3 -Архитектоника желудка крыс при введении в рацион экструдата зерна амаранта сорта Универсал

Окраска гематоксилин-эозин. Ок. 10 × об. 10(а,б) × об. 40(в)

Изучена сорбционная способность экструдированного амаранта по отношению к меди. В результате проведенных исследований установлено:

- экструдат амаранта сорбирует ионы двухвалентной меди ( $\text{Cu}^{2+}$ ) из его водных растворов. Построены изотермы адсорбции  $\text{Cu}^{2+}$ ;

- для описания зависимости сорбции из раствора на твердом теле от равновесной концентрации сорбтива приняты эмпирические уравнения Фрейндлиха и Ленгмюра, в результате расчетов названные уравнения для сорбции на экструдате амаранта имеют вид:

$$A=0,01 \cdot C^{0,26},$$

и

$$A=3,33 \cdot 10^{-3} \cdot 133,3 \cdot C / (1+133,3 \cdot C)$$

соответственно.

Исследованы функционально-технологические свойства муки из экструдата с различной крупностью помола - 1 мм и менее, 0,315 мм и менее, 0,125 мм и менее – жироземмульгирующая, жиросвязывающая и водосвязывающая способности, растворимость. Установлено, что жироземмульгирующая способность с уменьшением крупности помола увеличивается. Наибольшая жиросвязывающая способность обнаружена у муки с размером частиц 1,0 мм и менее. Это позволяет рекомендовать ее использование в рецептурах хлебобулочных изделий с высоким содержанием жира. Определено, что лучшей способностью связывать воду обладает мука с размером частиц 0,125 мм и менее. В дальнейшей работе рассматривали экструдат амаранта с размером частиц 0,125 мм и менее.

В модельных смесях муки пшеничной хлебопекарной высшего и первого сорта с мукой из экструдата амаранта показатель белизны закономерно снижается в обоих случаях (рисунки 4,5).

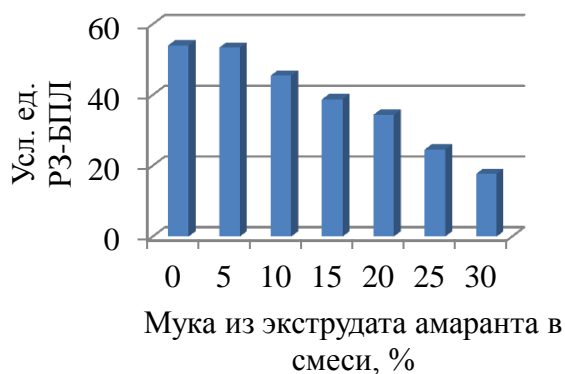


Рисунок 4 - Результаты исследования белизны в смесях с пшеничной мукой высшего сорта

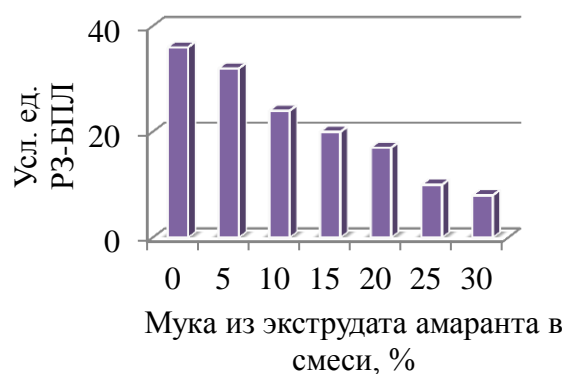


Рисунок 5 - Результаты исследования белизны в смесях с пшеничной мукой первого сорта

Автолитическая активность и кислотность смесей повышается с увеличением дозировки обогащающей муки. Установлено, что повышение дозировки экструдированной муки более 30% нецелесообразно ввиду достижения в мучных смесях критических значений по кислотности и содержанию водорастворимых веществ, оказывающих влияние на качество хлебобулочных изделий.

По результатам анализа количества клейковины в смесях определили максимально допустимую долю амарантовой муки для сохранения традиционных характеристик изделия – 20% - для смесей с высшим сортом и 25% для смесей с первым сортом.

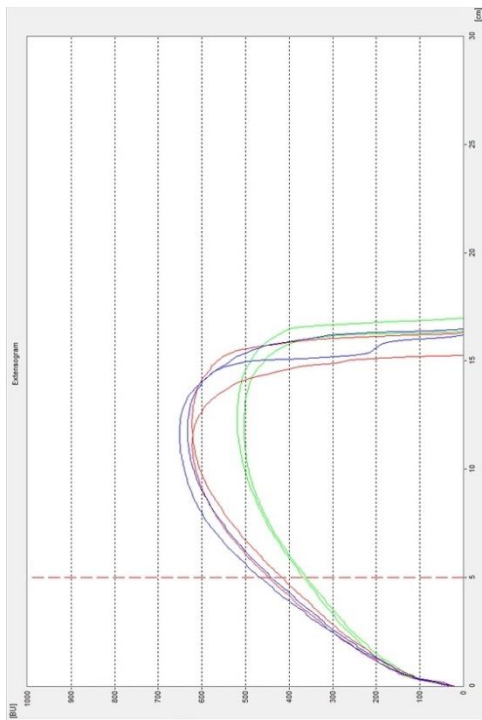
Более полная информация о влиянии экструдата амаранта на хлебопекарные свойства модельных смесей получена на валориграфе. Показатели комплексной характеристики силы муки, полученные по результатам анализа валориграмм модельных смесей, приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Показатели комплексной характеристики силы муки

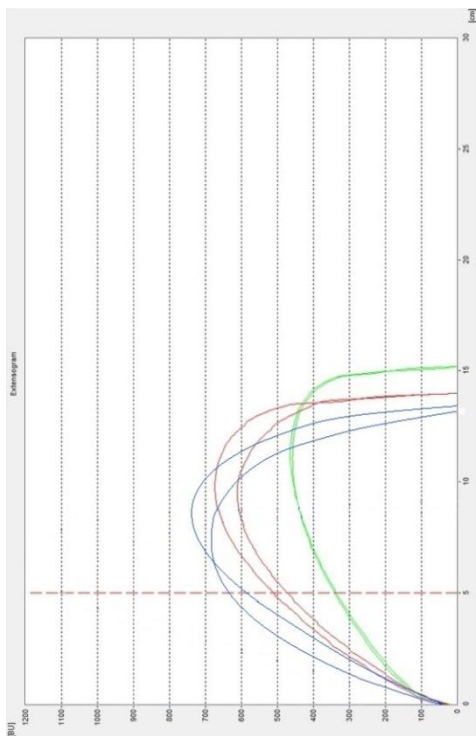
Наименование показателя	Характеристика модельной смеси при соотношении муки пшеничной хлебопекарной и экструдата амаранта в масс. долях			
	90:10	85:15	80:20	70:30
Водопоглотительная способность, %	57,76	58,42	62,14	62,82
Продолжительность образования теста, мин	4 мин 30с	6 мин 10 с	5 мин 30 с	5 мин 30 с
Устойчивость теста, мин	4 мин 05 с	3 мин 55 с	3 мин 30 с	2 мин 50 с
Разжижение, усл.ед.	90	80	85	85
Валориметрическая оценка, ед.вал.	70	72	72	71

Установлено повышение водопоглотительной способности с увеличением массовой доли муки из экструдата амаранта, что можно объяснить повышенной способностью пищевых волокон экструдата амаранта связывать воду и особенностями крахмала амаранта. Проведенные исследования на фаринографе подтвердили общую динамику в сравнении с контрольной пробой.

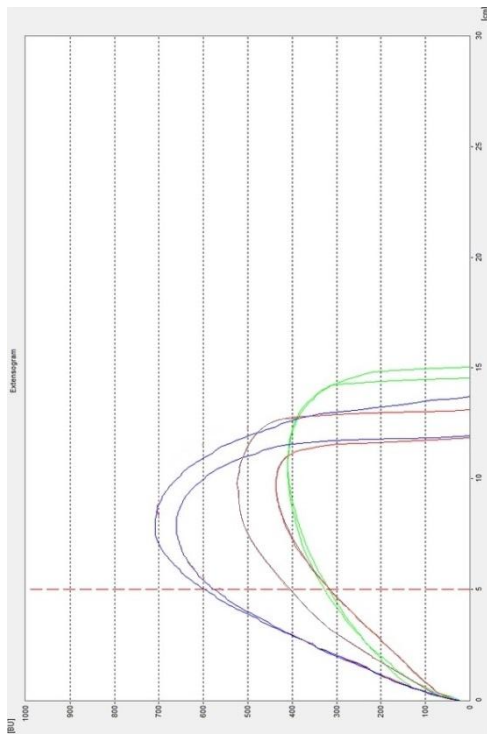
При исследовании растяжимости теста из модельных смесей на экстенсографе (рисунок 6) зафиксировали снижение растяжимости теста и энергии, затраченной на растяжение пробы. В результате исследования модельных смесей с применением амилографа (рисунок 6) установили снижение максимальной вязкости смесей - от 563 ЕА у контрольного образца до 353 ЕА у образца с 20% муки из экструдата амаранта.



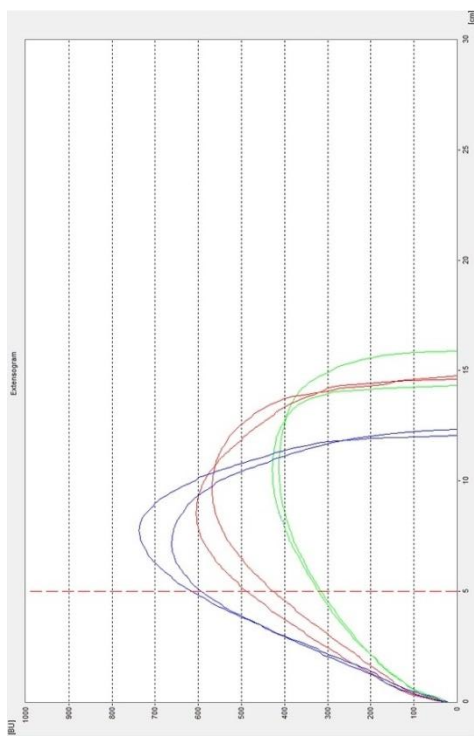
а



б



в



г

Рисунок 6 – Экстенсограммы муки и мучных смесей: а – мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (контроль); б, в, г – смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экстракта амаранта соответственно при соотношении в масс. долях 90:10, 85:15, 80:20

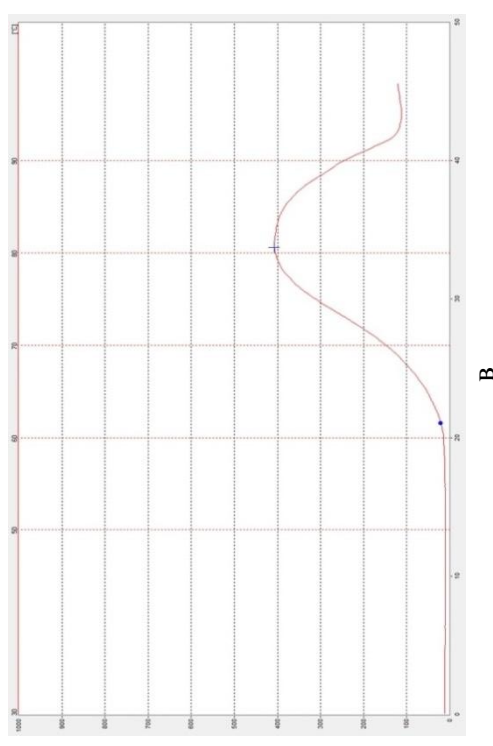
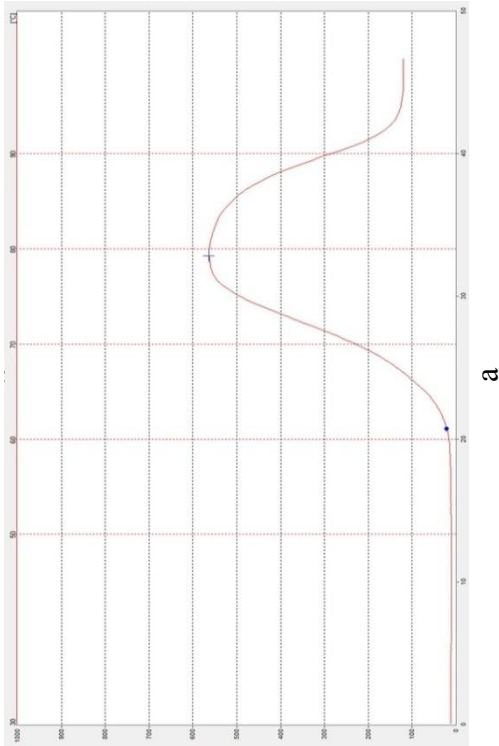
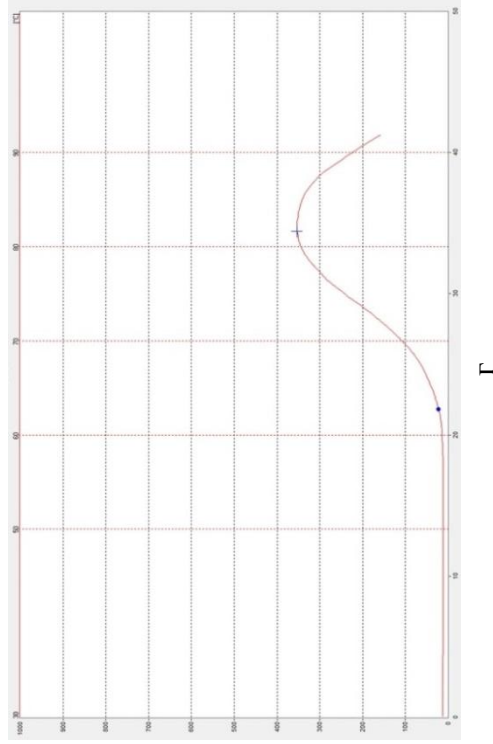
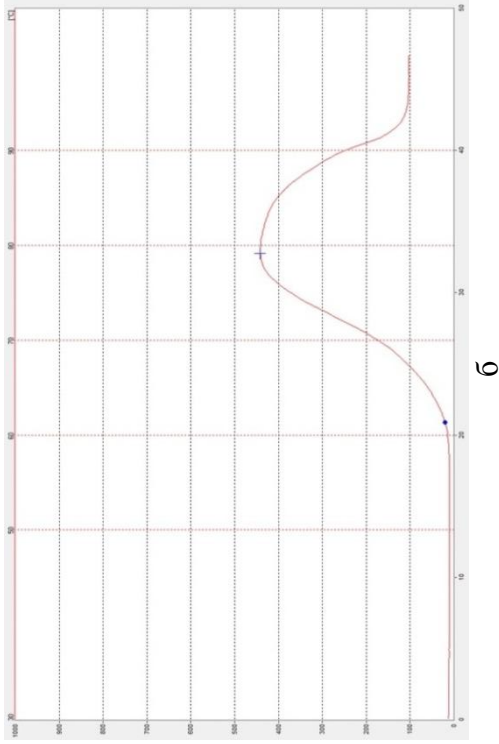


Рисунок 7 – Амилограммы муки и мучных смесей: а – мука пшеничная хлебопекарная первого сорта (контроль); б, в, г – смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экстракта амаранта соответственно при соотношении в масс. долях 90:10, 85:15, 80:20

Определено влияние дозировки муки из экструдата амаранта на температуру клейстеризации смесей – температура повышается и для смеси с 20% муки из экструдата амаранта составляет 81,6 °С. Температурные параметры клейстеризации крахмала смесей сдвинуты в сторону оптимальных значений  $\alpha$ -амилазы. На основании полученных значений при выборе технологии хлеба из рассматриваемых смесей рекомендовано выбирать ускоренные однофазные технологии.

**В пятой главе** рассмотрены теоретические и практические аспекты разработки способа приготовления хлеба с мукой из экструдата амаранта.

Предложен подход, позволяющий спрогнозировать качество и нутриентный состав обогащенных хлебобулочных изделий на этапе формирования рецептурного состава хлеба с обогащающими ингредиентами. При этом установлена чувствительность полученных решений к нестабильности характеристик мучных ингредиентов. Предложено решение в виде задачи стохастического программирования в М–постановке, в которой оптимизируется математическое ожидание значения целевой функции при заданных значениях вариации коэффициентов и вероятности выполнения ограничений. Установлены технологические и потребительские классы ограничений. В модель введены зависимости, позволяющие спрогнозировать состав хлебобулочных изделий и, соответственно, отнести их к определенной группе продукции функционального или специализированного назначения. Модель апробирована на примере расчета компонентной смеси муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта для производства хлеба с повышенным содержанием белка, обогащенного пищевыми волокнами и кальцием. В качестве оптимальных решений предложены компонентные смеси из муки пшеничной хлебопекарной первого сорта и муки из экструдата амаранта сорта Универсал при соотношении в масс. долях 83:17 и 77:23.

Изучено влияние муки из экструдата амаранта на процесс созревания теста. Отмечено повышение газообразования с увеличением доли муки из экструдата амаранта по сравнению с контрольной смесью. Установлено, что газодерживающая способность опытных проб была ниже контроля на 5% для смеси с 17% муки из экструдата амаранта и 9% для смеси с 23%, что связано со снижением количества клейковины в смесях. Анализ газодерживающей способности теста с мукой из экструдата амаранта показал целесообразность выработки формовой продукции.

Образец хлеба с 17 % муки из экструдата амаранта, полученный в результате лабораторной выпечки, имел более темные мякиш и корку по сравнению с хлебом из пшеничной муки первого сорта, слегка выраженный

аромат жареных орехов. Добавление большей дозировки муки из экструдата амаранта влечет более существенные изменения. При этом физико-химические показатели соответствуют показателям, характерным для хлеба из сортовой пшеничной муки.

Применение муки из экструдата амаранта предполагает не только количественное изменение белковых веществ хлеба, но и существенные качественные изменения. Внесение 17% муки из экструдата амаранта сорта Универсал в рецептуру хлеба белого повышает биологическую ценность на 28,4 %, увеличивает содержание лимитирующей аминокислоты лизина вдвое, пищевых волокон и кальция – в 2,5 раза.

С учетом использования рецептуры хлеба белого в качестве основы, опытный образец идентифицирован как хлеб белый амарантовый.

На основании изучения динамики показателей влажности, кислотности, пористости и крошковатости установлен срок годности хлеба белого амарантового – 72 часа. Сохранение характеристик хлеба в процессе хранения достигается при использовании термоусадочной пленки или полипропиленовой упаковки с клипсой.

Разработана нормативная и техническая документация - стандарт организации СТО 00492894-004-2020 Мука из экструдата амаранта и СТО 00492894-005-2020 Хлеб белый амарантовый, РЦ 00492894-005-2020 Хлеб белый амарантовый.

*В шестой главе* представлен расчет экономической эффективности производства хлеба белого амарантового массой 500 г. С учетом уровня 8% коммерческих расходов, 60% затрат на сырье, 15% рентабельности, 15% наценки стоимость 500 г упакованного хлеба составит 39,70 руб., что на 24% выше стоимости хлеба белого традиционной рецептуры.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате проведенного исследования можем сделать следующие выводы:

1. На основании анкетирования потребителей установлена актуальность обогащения хлебобулочных изделий. Подтверждены массовость и постоянство потребления хлеба среди жителей г. Воронеж. Установлена целесообразность обогащения хлеба лимитирующими нутриентами с учетом частичного изменения органолептических характеристик и повышения стоимости на уровне 10-30%.

2. Установлены существенные различия состава амаранта в зависимости от сортовой принадлежности. Скрининг сортов амаранта позволил выделить амарант Воронежской селекции Универсал, который в большей степени



способен удовлетворить решению задачи полифункционального обогащения хлебобулочных изделий вследствие высокого содержания белка, клетчатки и минеральных веществ.

3. Изучено изменение структуры амаранта в процессе экструзии методом ИК-спектроскопии. Спектральные характеристики цельносмолотого и экструдированного зерна свидетельствуют о частичном разрушении белковых компонентов и относительной неизменности структуры пищевых волокон.

4. Исследовано влияние внесения амаранта в рацион лабораторных животных - крыс линии Wistar. Отмечено общее улучшение состояния крови животных. Гистологические исследования почек, желудка и печени подтверждают нормализацию обменных процессов у животных при добавлении амаранта и экструдата амаранта в корм.

5. Изучены функционально-технологические свойства муки из экструдата амаранта в зависимости от крупности помола: жиросвязывающая, жироземмульгирующая, водосвязывающая способность и растворимость. Установлено, что лучшими функционально-технологическими свойствами применительно к технологии хлеба из сортовой пшеничной муки обладает мука с крупностью помола 0,125 мм и менее.

6. Доказано, что экструдат амаранта обладает способностью сорбировать соли тяжелых металлов. По экспериментальным зависимостям с использованием  $\text{Cu}^{2+}$  составлены уравнения удельной сорбции - уравнение Фрейндлиха (для малого диапазона концентраций) и уравнение Ленгмюра (для широкого диапазона концентраций). Определены значения предельной сорбции, константа сорбционно-десорбционного равновесия.

7. Установлено, что мука из экструдата амаранта оказывает существенное влияние на хлебопекарные свойства мучных смесей с сортовой пшеничной мукой: повышается автолитическая активность, кислотность, снижаются цветовые характеристики смесей, количество и качество клейковины. Граничными значениями внесения муки из экструдата, позволяющими обеспечить традиционное качество хлеба, является дозировка 15% от массы муки для смесей с мукой пшеничной хлебопекарной высшего сорта и 20% с мукой пшеничной хлебопекарной первого сорта.

8. Исследованы реологические свойства модельных мучных смесей из муки пшеничной хлебопекарной и муки из экструдата амаранта на волариграфе, фаринографе, экстенсографе и альвеографе. Установлено закономерное снижение хлебопекарных свойств при внесении муки из экструдата амаранта, как в части белково-протеиназного, так и углеводно-амилазного комплекса. Внесение муки из экструдата амаранта до 20% позволяет спрогнозировать близкие к традиционным характеристики изделия.

9. Определение рациональной дозировки муки из экструдата амаранта выполнено в виде задачи стохастического программирования в М-постановке. С учетом мнения респондентов относительно изменения

сенсорных характеристик обогащенного изделия, а также уровня обогащения белком, пищевыми волокнами и кальцием, обоснованы рациональные дозировки муки из экструдата амаранта: 17 % от массы мучной смеси при практически традиционных органолептических характеристиках готовых изделий, 23% - при более существенных изменениях.

10. Установлено, что с увеличением дозировки муки из экструдата амаранта возрастает газообразование смесей, расплываемость шарика теста, его кислотность, снижается газодерживающая способность. Внесение 23% муки из экструдата амаранта приводит к существенным изменениям сенсорных характеристик хлеба.

11. Исследованы показатели качества и состав хлеба белого амарантового. Установлено, что при внесении 17% муки из экструдата амаранта увеличивается содержание кальция и пищевых волокон в 2,5 раза по сравнению с традиционной рецептурой. Количество белка повышается на 24%, биологическая ценность на 28,4%, что позволяет в соответствии с ГОСТ Р 55577-2013 идентифицировать хлеб белый амарантовый как источник белка.

12. Разработана рецептура хлеба с мукой из экструдата амаранта. Способы получения муки из экструдата амаранта и хлеба белого амарантового апробированы на базе учебно-научно-производственного комплекса «Агропереработка» и рекомендованы к внедрению в производство. Утверждена нормативная и техническая документация на муку из экструдата амаранта и хлеб белый амарантовый.

13. Экономические расчеты свидетельствуют о повышении стоимости хлеба белого амарантового по сравнению с традиционным изделием на 20%, что допустимо для 45% опрошенных потребителей.

### **Список работ, опубликованных автором по теме диссертации:**

#### **а) в научных журналах с индексацией Scopus и Web of Science**

1. Derkanosova N.M. Application of the amaranth extrudate in the technology of bread from grade wheat flour / N.M. Derkanosova, **A.A. Stakhurlova**, I.A. Pshenichnaya, I.N. Ponomareva, O.A. Vasilenko, G.V. Shurshikova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Volume 422, Issue 1, 10 January 2020, No. 012010.

2. Derkanosova N.M. Amaranth as a bread enriching ingredient / N.M. Derkanosova, **A.A. Stakhurlova**, I.A. Pshenichnaya, I.N. Ponomareva, O.V. Peregonchaya, S.A. Sokolova // Foods and raw materials. – 2020. – vol.8, no. 2. – p. 223-231.

3. **Stakhurlova A.A.** Experimental evaluation of amaranth food products in terms of functional food ingredients / A.A. Stakhurlova, N.M. Derkanosova, A.V. Aristov, I.N. Ponomareva, A.A. Sutolkin // International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2019). 2020. - No. 00147.

#### **б) в рецензируемых научных журналах и изданиях рекомендованных ВАК РФ**

4. Дерканосова Н.М. Исследование функционально-технологических свойств смесей пшеничной и амарантовой муки / Н.М. Дерканосова, **A.A. Доронина, A.A. Стахурлова** // Хлебопродукты. – 2015. - №11. – С. 59-61.

5. Дерканосова Н.М. Обоснование направлений перспективных исследований повышения потребительских свойств хлебобулочных изделий / Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, **А.А. Стахурлова** // Вестник ВГАУ. – 2016. - №1 (48). – С. 142-147.

6. Дерканосова Н.М. Амарантовый экструдат как обогащающий ингредиент мучных изделий / Н.М. Дерканосова, **А.А. Стахурлова**, И.Н. Пономарева и др. // Хлебопродукты. – 2018. - №2. – С. 32-34.

**в) публикации в других изданиях и материалах конференции**

7. Дерканосова Н.М. Исследование модельных смесей пшеничной и амарантовой муки / Н.М. Дерканосова, А.А. Доронина, **А.А. Стахурлова** // Материалы III Международной научно-практической конференции: производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности. – 2015. - №1. – С. 11-15.

8. Дерканосова Н.М. Исследование функционально-технологических свойств цельносмолотой амарантовой муки / Н.М. Дерканосова, М.С. Гинс, И.М. Камышева, А.А. Доронина, **А.А. Стахурлова** // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции, - Воронеж : ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ. – 2015. - №1(4). – С. 7-12.

9. Дерканосова Н.М. Обоснование дозировки цельносмолотой муки из амаранта в рецептурах хлебобулочных изделий / Н.М. Дерканосова, А.А. Доронина, **А.А. Стахурлова**, М.С. Гинс // Научни трудове Университет по хранителни технологии. Том LXII. – Пловдив: Академично издателство на УХТ, 2015. - С. 34-39.

10. Золотарева Н.И. Анализ потребительских предпочтений в отношении хлебобулочных изделий / Н.И. Золотарева, Н.М. Дерканосова, **А.А. Стахурлова** // Материалы IV Международной конференции «Пищевые инновации и биотехнологии». – Кемерово: ФГБОУ ВО «Кемеровский технологический институт пищевой промышленности (университет)». - 2016. - С. 555-557.

11. Дерканосова Н.М. Исследование растворимости зернового экструдата как ингредиента хлебобулочных изделий / Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, О.А. Василенко, **А.А. Стахурлова** // Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию факультета ветеринарной медицины и технологии животноводства, проводимой на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I». – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С.93-96.

12. **Стахурлова А.А.** Amaranth: features and use / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова // Материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках (Россия, Воронеж, апрель 2017 г.) – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – с. 167-171.

13. **Стахурлова А.А.** Comparing price on bread and salaries changes in Voronezh region / А.А. Стахурлова, А.В. Агибалов // Материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках (Россия, Воронеж, апрель 2017 г.) – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – с. 172-175.

14. **Стахурлова А.А.** Сравнительный анализ амаранта сортов Валентина и Универсал как обогащающих пищевых ингредиентов / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, В.Д. Ломова // Материалы международной научно-практической конференции «Продовольственная безопасность в контексте новых идей и решений» 10 марта 2017 г. – Семей: Государственный университет имени Шакарима, 2017. – С. 226-228.

15. **Стахурлова А.А.** Сравнительный анализ амаранта сортов Император и Универсал как обогащающих пищевых ингредиентов / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, Л.И. Саратовский // Социально-экономические проблемы продовольственной безопасности: реальность и перспектива : Матер. II Межд.науч.-практ. конф. 30 марта 2017. – Мичуринск : Изд-во Мичуринского ГАУ, 2017. – С. 333-336.

16. Ломова В.Д. Амарант Воронежской селекции как обогащающий ингредиент хлебобулочных изделий / В.Д. Ломова, Н.М. Дерканосова, **А.А. Стахурлова** // Материалы 68-й студенческой научной конференции Молодежный вектор развития аграрной науки (Воронеж, 01 марта-30 апреля 2017 г.). – Воронеж ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – с. 420-425.

17. **Стахурлова А.А.** Анализ функционально-технологических свойств муки с различной крупностью помола из экструдата амаранта / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, В.Д. Ломова, И.Н. Пономарева // Актуальные проблемы пищевой промышленности и общественного питания: Материалы международной научно-практической конференции (Екатеринбург, 19 апреля 2017 г.). - Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2017. – С. 243-246.

18. **Stakhurlova A.** Research of sorption ability of enriching ingredients from amaranth grain / A. Stakhurlova, N. Derkanosova, I. Ponomareva, S. Garshina // Materials of the VIII International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2017», 05-08 October 2017, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. – pp. 542.

19. **Стахурлова А.А.** Отношение потребителей к хлебобулочным изделиям, реализуемым в г.Воронеж / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, В.Д. Ломова, И.Н. Пономарева // Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров: сборник статей V Международной конференции в области товароведения и экспертизы товаров (10 ноября 2017 года) / ред-кол.: (отв. ред. Э.А. Пьяникова) [и др.]; Юго-Зап. гос. ун-т., ЗАО «Университетская книга», Курск, 2017. – С. 290-294.

20. **Стахурлова А.А.** Исследование функционально-технологических свойств муки из экструдата амаранта / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, В.Д. Ломова // Технологии и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2017. - №2. – С.13-18.

21. Дерканосова Н.М. Изучение сорбционных свойств продуктов переработки амаранта / Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, **А.А. Стахурлова** // Роль аграрной науки в развитии АПК РФ: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 105-летию ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ (Россия, Воронеж, 1-2 ноября 2017г.). – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 268-271.

22. Дерканосова Н.М. Амарантовый экструдат как обогащающий ингредиент мучных изделий / Н.М. Дерканосова, **А.А. Стахурлова**, И.Н. Пономарева и др. // Хлебопродукты. – 2018. - №2. – С. 32-34.

23. **Стахурлова А.А.** Влияние экструдата амаранта на хлебопекарные свойства модельных смесей / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева // Региональный рынок потребительских товаров: перспективы развития, качество и безопасность товаров, особенности подготовки кадров в условиях развивающихся IT-технологий : Материалы VII Международной научно-практической конференции. – Тюмень : ТИУ, 2018. – С. 102-107.

24. **Стахурлова А.А.** Определение показателя белизны в смесях пшеничной и амарантовой муки / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, В.Д. Ломова, И.Н. Пономарева // Инновационные тенденции развития российской науки. Часть I: мат-лы XI международ. науч.-практ. конф. молод. учен. (10-11 апреля 2018 г.) / Краснояр. гос. аграр. ун-т.– Красноярск, 2018. – С. 285-288.

25. **Стахурлова А.А.** About enrichment of food products through extruded ingredients / Н.М. Дерканосова, А.А. Стахурлова, И.Н. Пономарева // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы международной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов (на иностранных языках) (Россия, Воронеж, апрель 2018г.) - Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 226-229.

26. **Стахурлова А.А.** Деградационные изменения функционального состава зерна амаранта в процессе экструзии по данным ИК-спектроскопии / А.А. Стахурлова, О.В.

Перегончая, С.А. Соколенко, Н.М. Дерканосова // Технология и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2018. - №2(11). – С.14-18

27. **Stakhurlova A.** Research of technological properties of flour mixtures with amaranth extrudate / A. Stakhurlova, N. Derkanosova, I. Ponomareva // Materials of the IX International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2018», 07-08 October 2018, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. – pp. 492.

28. **Стахурлова А.А.** Изменение функционального состава зерна амаранта вследствие экструзии по данным ИК-спектроскопии / А.А. Стахурлова, О.В. Перегончая, С.А. Соколова, Н.М. Дерканосова и др. // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 07-09 ноября 2018 г.) – Ч. I - Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С.418-423.

29. **Стахурлова А.А.** Исследование водопоглотительной способности мучных модельных смесей / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева // Технология и товароведение сельскохозяйственной продукции. – 2018. - №2(11). – С.10-13.

30. **Стахурлова А.А.** Анализ кислотности и автолитической активности модельных смесей муки / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, А.И. Селезнев // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции: менеджмент качества и безопасности: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 25-летию факультета технологии и товароведения Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 7-9 ноября 2018 г.). – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – С. 299-303.

31. **Stakhurlova A.** Amaranth grain as enriching ingredient for bakery technology / A. Stakhurlova, N. Derkanosova, I. Ponomareva // Materials of the X International Scientific Agricultural Symposium «Agrosym 2019», 03-06 October 2019, Jahorina, Bosnia and Herzegovina. – pp. 488-489.

32. **Стахурлова А.А.** Листовая масса амаранта: применение и сравнительный анализ состава различных сортов / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, Л.И. Саратовский, И.И. Зайцева // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 70-й научной студенческой конференции. - Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2019. – С.106-112.

33. **Стахурлова А.А.** Амарант сорта Универсал как перспективный обогащающий ингредиент хлебобулочных изделий / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, И.Н. Пономарева, О.А. Василенко // Безопасность и качество сельскохозяйственного сырья и продовольствия. Управление «зелёными» навыками в пищевой промышленности: материалы IV Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию кафедры «Управление качеством и товароведение продукции» (29-30 октября 2019 г.) / ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева – М.: «Принт24», 2020. – С. 217-222.

34. Дерканосова Н.М. Анализ результатов маркетинговых исследований методом взаимосвязи переменных / Н.М. Дерканосова, А.Г. Буховец, Е.А. Лаптиева, **А.А. Стахурлова** // «Черевитиновские чтения – 2020» Материалы VII Международной научно-практической конференции. Москва, 2020. - С. 33-36.

35. **Стахурлова А.А.** Обоснование состава хлебопекарной двухкомпонентной мучной смеси / А.А. Стахурлова, Н.М. Дерканосова, О.А. Василенко // Новое в технологии и технике функциональных продуктов питания на основе медико-биологических воззрений [Текст] : сборн. статей IX Междунар. науч.- техн. конф. / Воронеж. гос. ун-т инж. технол. – Воронеж: ВГУИТ, 2021. – С. 343-346.

Подписано в печать 21.10.2021 г. Формат 60x84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага кн.-журн.  
П.л. 1,0. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ №22224.  
Типография ФГБОУ ВО ВГАУ 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1.