

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-444-453>



Поступила 14.05.2024

Поступила после рецензирования 09.08.2024

Принята в печать 26.09.2024

© Мелешкина Е. П., Ванина Л. В., Витол И. С., 2024

<https://www.fsjour.com/jour>

Обзорная статья

Open access

АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ О ЗЕРНЕ. ОБЗОР

Мелешкина Е. П., Ванина Л. В., Витол И. С.*

Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

зерно и продукты его переработки, композитные виды муки и крупы, хранение, качество и безопасность, отруби, зерновые гидролизаты

Представлен аналитический обзор публикаций по наиболее актуальным и перспективным направлениям в области науки о зерне: инновационным технологиям переработки злаковых, бобовых и масличных культур, получению композитных видов муки и крупы, обладающих сбалансированным составом и функциональными свойствами; оценке их технологических, биохимических, реологических и органолептических показателей. Рассмотрены варианты их использования при производстве обогащенных мучных и крупяных продуктов как общего, так и специального назначения; ферментативным способом модификации побочных (вторичных) продуктов переработки зерна и зерноотходов; использованию микробных ферментных препаратов целлюлолитического, протеолитического и фитазного действия в качестве инструментария глубокой переработки побочного (вторичного) сырья для получения зерновых гидролизатов и структурно-модифицированных отрубей — ценных компонентов для повышения пищевой и биологической ценности пищевых продуктов и кормов, а также как источник доступного азотного и фосфорного питания для дрожжей в технологиях брожения; разработке методов определения норм и сроков безопасного хранения зерна и зернопродуктов — муки пшеничной и крупы манной, по показателю кислотного числа жира; оценке качества и микробиологической безопасности зерна; разработке требований целевого использования муки хлебопекарной, кондитерской, макаронной, кулинарной; научно обоснованным подходам к мероприятиям по защите хлебных запасов от вредителей. Анализ публикаций, в которых отражены наиболее важные и актуальные вопросы науки о зерне, свидетельствует о тесной взаимосвязи фундаментальных и прикладных исследований, которые в целом направлены на обеспечение продовольственной безопасности и сохранения здоровья населения.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022-0006 и № FGUS-2022-0016 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 14.05.2024

Accepted in revised 09.08.2024

Accepted for publication 26.09.2024

© Meleshkina E. P., Vanina L. V., Vitol I. S., 2024

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Review article

Open access

CURRENT DEVELOPMENTS IN GRAIN SCIENCE. REVIEW

Elena P. Meleshkina, Lyudmila V. Vanina, Irina S. Vitol*

All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing, Moscow, Russia

KEY WORDS:

grain and its processed products, composite types of flour and groats, storage, quality and safety, bran, grain hydrolysates

ABSTRACT

An analytical review of publications on the most relevant and promising areas in the field of grain science is presented: innovative technologies for processing cereals, legumes and oilseeds, obtaining composite types of flour and cereals with a balanced composition and functional properties; assessment of their technological, biochemical, rheological and organoleptic indicators. The authors examined options for their use in the production of fortified flour and cereal products for both general and special purposes; enzymatic methods for modifying by-products (secondary products) of grain and grain mixtures processing; the use of microbial enzyme preparations with cellulolytic, proteolytic and phytase action as a tool for deep processing of by-products (secondary raw materials) to obtain grain hydrolysates and structurally modified bran — valuable components for increasing the nutritional and biological value of food products and feed, as well as a source of available nitrogen and phosphorus nutrition for yeast in fermentation technologies; development of methods for determining norms and duration of safe storage of grain and grain products — wheat flour and semolina, based on the acid value of fat; assessment of the quality and microbiological safety of grain; development of requirements for the targeted use of bakery, confectionery, pasta, and culinary flour; scientifically based approaches to measures to protect grain reserves from pests. An analysis of publications that reflect the most important and pressing issues in grain science demonstrates the close relationship between fundamental and applied research, which is generally aimed at ensuring food security and maintaining public health.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2022-0006 and No. FGUS-2022-0016 of the state assignment of the V. M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Зерновая отрасль — одна из важнейших стратегических отраслей, которой принадлежит ключевая роль в обеспечении продовольственной безопасности. Роль зернопродуктов — мучных и крупяных изделий в питании современного человека трудно переоценить. Они популярны и пользуются высоким спросом во всем мире среди различных возрастных и социальных групп населения [1–3]. Традиционно зернопродукты занимают особое место в рационе питания населения и в нашей стране: на их долю приходится до 40% от общего рациона, при этом большинство готовых мучных и крупяных продуктов, присутствующих на рынке, до последнего времени не

отвечали требованиям сбалансированности состава для создания рационов на основе принципов рационального питания [4,5].

В то же время зерно — с биохимической точки зрения — это уникальный биологический объект. И несмотря на то, что современная наука накопила огромное количество информации о биохимических и физиологических процессах, протекающих в зерновке при созревании, хранении, переработке, многие вопросы остаются до конца не исследованными. С развитием и появлением новых современных инструментальных методов анализа, применением системного подхода в исследованиях, опираясь на накопленный опыт, в настоящее время появилась возможность восполнить существующие пробелы

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Мелешкина, Е. П., Ванина, Л. В., Витол, И. С. (2024). Актуальные направления развития науки о зерне. Обзор. *Пищевые системы*, 7(3), 444–453. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-444-453>

FOR CITATION: Meleshkina, E. P., Vanina, L. V., Vitol, I. S. (2024). Current developments in grain science. Review. *Food Systems*, 7(3), 444–453. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2024-7-3-444-453>

в нашем представлении об этих процессах с учетом многочисленных факторов, оказывающих влияние на зерно и зернопродукты [6,7].

ВНИИ зерна и продуктов его переработки проводит фундаментальные и прикладные исследования процессов хранения, очистки, сушки зерна; создает технологии для комплексной переработки зерна, крупяных культур и композитных зерносмесей на основе зерновых, бобовых и масличных культур для создания новых сбалансированных продуктов питания, в том числе и функционального назначения; разрабатывает мероприятия по защите хлебных запасов от вредителей, способы ферментативной модификации побочных (вторичных) продуктов переработки зерна и зерносмесей, методики определения норм и сроков безопасного хранения зерна и зернопродуктов, оценки его качества и безопасности, в том числе и микробиологической; методов и средств экспрессной оценки качества по спектральным характеристикам зерна и продуктов его переработки; на основе ранее разработанной математической модели создает систему классификации зерна и муки по целевому назначению — хлебопекарной, кондитерской, макаронной, кулинарной; решает приоритетные задачи стандартизации: актуализация действующих ГОСТов и разработка новых национальных и межгосударственных стандартов; разрабатывает научное обеспечение для решения вопросов, связанных с формированием зерновых агропромышленных кластеров России. Инновационные разработки ВНИИЗ, в первую очередь, направлены на сохранение зернового потенциала страны, развитие мукомольной и крупяной отраслей, создание безопасных продуктов, отвечающих современным требованиям, для сохранения здоровья населения и обеспечения продовольственной независимости.

Это в полной мере соответствует концепции государственной политики в области здорового питания¹, один из механизмов реализации которой предусматривает «разработку и промышленный выпуск широкого ассортимента продуктов здорового питания, создаваемых с использованием наукоёмких инновационных технологий. Это касается новых видов отечественных пищевых продуктов. Использование этих продуктов направлено на достижение адекватной обеспеченности макро- и микронутриентами, минорными биологически активными компонентами пищи, оказывающими доказанное благоприятное влияние на физиологические функции организма и повышение адаптационного потенциала организма человека».

Опираясь на накопленный опыт, двигаясь вперед, развиваясь, наука о зерне не только решает насущные вопросы, но и во многом предопределяет дальнейшие направления как фундаментальных исследований, так и перспективные практические подходов и технологических решений для индустриальных партнеров в зерновой отрасли.

Цель исследования — анализ современных публикаций для определения направлений дальнейшего развития науки о зерне; научного обеспечения инновационных технологий переработки зерна, включая глубокую переработку; решения вопросов, связанных с хранением зерна и зернопродуктов, оценкой их качества и безопасностью.

2. Материалы и методы

Настоящий аналитический обзор построен на основе результатов исследований, опубликованных в отечественных и зарубежных научных журналах, в сборниках национальных и международных конференций за период с 2019 по июнь 2024 года. Из рассмотренных 315 научных публикаций для обзора была отобрана 61 публикация, отражающая все наиболее актуальные направления в области исследования зерна и зернопродуктов, проводимых во ВНИИЗ за последние пять лет.

С целью систематизации обширного материала были выбраны следующие основные направления:

- инновационные технологии переработки композитных зерносмесей для создания сбалансированных мучных и крупяных продуктов здорового питания;
- качество и безопасность зерна;
- сроки и нормы безопасного хранения зернопродуктов;
- вторичные (побочные) продукты переработки зерна — ценное сырье для глубокой переработки.

Приоритетным критерием при отборе публикаций наряду с актуальностью, научной и практической значимостью служила индексация в российских и международных наукометрических базах данных: *РИНЦ, BAK, RSCI, Agris, Google Scholar, Scopus, Web of Science*.

¹ Государственная политика Российской Федерации в области здорового питания: Доклад. — М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2015. — 89 с.

3. Результаты и их обсуждение

3.1. Инновационные технологии переработки композитных зерносмесей для создания сбалансированных мучных и крупяных продуктов здорового питания

Современные тенденции развития мукомольной и крупяной отрасли в России, как и во всем мире направлены на получение продуктов сложного, поликомпонентного состава, благодаря которому удастся в одном продукте аккумулировать биопотенциал нескольких исходных компонентов, сбалансировать состав по макро- и микронутриентам, а также увеличить долю эссенциальных компонентов: незаменимых аминокислот, ПНЖК, макро- и микроэлементов, витаминов, минорных биологически активных соединений, что, в конечном счете, отвечает современным требованиям нутрициологии [8–10].

Учеными ВНИИЗ научно обоснованы инновационные технологии совместной переработки двух- и трехкомпонентной зерновой смеси на основе зерна пшеницы, семян чечевицы и льна. При этом было учтено влияние обогащающих компонентов (семян чечевицы и белого масличного льна) на процесс совместного размола, технологические, физико-химические, биохимические, реологические и органолептические свойства композитной муки, теста и хлеба.

При изучении возможности получения композитной пшенично-льняной муки, в которой сохранен весь биопотенциал семян льна, выявлено, что подготовка компонентов зерновой смеси должна осуществляться независимо, параллельными потоками [8]. При подготовке зерна пшеницы осуществляли холодное кондиционирование, режимы которого составили: влажность — 15,5%, продолжительность отволаживания — 24 часа. Основной структурной схемы размола бинарной смеси служила схема сокращенного сортового помола пшеницы. Моделирование процесса размола проводили на установках РСА. В драном процессе использовали рифленные вальцы (Р-10/см), для размольных и шлифовочной системы использовали вальцы с микрошероховатой поверхностью [9].

Определены оптимальные режимы извлечения пшенично-льняной смеси. Разработаны технологические схемы и сформированы новые сорта пшенично-льняной муки. Выявлены особенности распределения белков, жиров, углеводов и основных ферментных систем в сформированных сортах пшенично-льняной муки, полученной из бинарной смеси, состоящей из 93% зерна пшеницы и 7% семян льна. Показано, что общее содержание жира в муке из двухкомпонентных смесей возрастает примерно в 4 раза, а общее содержание белка в исследуемых образцах увеличивается на 1–2%. Содержание линолевой кислоты (ω -6) в образцах пшенично-льняной муки в 1,6...3,3 раза больше, чем в пшеничной муке; содержание линоленовой кислоты (ω -3) в образцах пшенично-льняной муки в 36,8...57,2 раза больше, чем в пшеничной муке (с учетом общего содержания жира в образцах) [10]. Проведено комплексное исследование белково-протеиназного, углеводно-амилазного и липидного комплекса сформированных сортов муки [11].

Дана оценка возможного срока безопасного хранения на основании динамики изменения показателя кислотного числа жира (КЧЖ), который составил 9,4 месяца (прогноз). Хлеб, выпеченный из пшенично-льняной муки, имел достаточно хороший объемный выход от 422 до 449 см³/100 г муки. Все образцы хлеба отличались высокой оценкой внешнего вида и суммарной органолептической оценкой выше средней, что свидетельствует о возможности её использования для получения специализированных видов хлеба и производства мучных кондитерских изделий [12].

Исследователями ВНИИЗ были предложены и альтернативные (другие) способы получения пшенично-льняной муки, в которых зерно пшеницы заменяли на крупу пшеничную шлифованную, типа «Полтавская» № 1 и крупу манную марки М, что позволило существенно упростить процесс размола, отказаться от многосортного помола, добиться равномерного распределения жира по сортам муки [13,14].

Во ВНИИ зерна и продуктов его переработки разработана технология совместной переработки трехкомпонентной зерновой смеси, состоящей из 85% зерна пшеницы, 10% семян чечевицы и 5% семян льна, позволяющей обогатить пшеничную муку не только ПНЖК, но и хорошо усваиваемыми растительными белками [15,16]. Схема размола включала три драные системы и 6 размольных, что соответствовало сокращенной схеме сортового пшеничного помола. Режим измельчения обеспечил получение суммарного количества круподуновых продуктов драных систем не менее 60%. Показано, что наличие в составе помольной смеси 5% семян льна и 10% чечевицы не снижает выход готовой продукции, более того, установлено, что

выход муки увеличивается на 3–5%. Введение в состав помольной смеси семян льна и чечевицы позволило увеличить содержание белка в муке примерно на 50% (с 12% до 18%), содержание жира в 2 раза (с 1,6% до 3,6%), при этом, как показали исследования, целесообразным видом переработки трехкомпонентной зерносмеси является односортовый помол, так как формирование нескольких сортов муки приводит к неравномерному распределению белка и жира [15,16].

Таким образом, получаемая различными способами комpositная мука, являясь продуктом повышенной пищевой ценности и может быть востребована для производства хлебобулочных и мучных кондитерских изделий как общего назначения, так и для создания функциональных и специализированных продуктов для различных групп населения.

Для кондитерской отрасли, в частности производства мучных кондитерских изделий, интерес представляют исследования, посвященные получению пшенично-ореховой муки с высоким содержанием жира и белка [17]. В качестве исходного сырья были использованы смеси, состоящие из продуктов мукомольного производства в виде манной крупы марки М, ТМ, Т, муки макаронной высшего сорта (крупки), 1-го сорта (полукрупки), продуктов крупяного производства в виде крупы цельной или дробленной (типа Полтавская, Артек), и ядра орехов, измельченных на ножевом измельчителе (молотковой дробилке) с размером частиц 1–2 мм для смеси с продуктами мукомольного производства или 3–4 мм для смеси с продуктами крупяного производства. Химический состав комpositной муки с внесением 5% измельченных орехов — пшенично-миндальная/пшенично-кедровая/пшенично-грецко-ореховая: белки отличались лишь по содержанию жира (%) — 12,8/12,5/12,6; жиры — 3,64/4,37/4,00; углеводы — 67,7/67,7/67,6; пищевые волокна — 3,4/3,6/3,5 [17]. На основании проведенных исследований учеными ВНИИЗ и РОСБИОТЕХА разработаны технологические решения применения пшенично-кедровой муки при производстве хлебобулочных изделий. Пробные лабораторные выпечки с использованием безопасного способа приготовления теста показали, что наилучшими обобщенными характеристиками по органолептическим и физико-химическим показателям качества обладали хлебобулочные изделия, приготовленные из пшенично-кедровой муки с содержанием кедрового ореха в количестве 7,5% [17].

Интересные данные были получены при исследовании возможности обогащения пшеничной хлебопекарной муки 1-го сорта [18] и получения 2-х видов двухкомпонентной муки: пшенично-льняной и пшенично-миндальной. Проведенная комплексная оценка по физико-химическим, биохимическим показателям, реологическим свойствам теста, пробной лабораторной выпечке и органолептической оценке хлеба показала следующие результаты: пшенично-льняная и пшенично-миндальная мука характеризовались повышенным содержанием жира и белка. Водопоглощительная способность пшенично-миндальной муки уменьшилась на 2,4%, а пшенично-льняной — осталась на том же уровне, что и в образце пшеничной муки. Анализ выпеченного хлеба (методом пробной лабораторной выпечки) показал высокие результаты по показателям объемного выхода и пористости хлеба. Суммарная органолептическая оценка была высокой и составила 9,5–10,0 баллов [18].

Для обогащения пшеничной муки высшего сорта учеными ВНИИЗ предложено использовать белково-жировой концентрат (чечевиочно-льняная мука) с содержанием белка 27,5%, жира 11,9%. Разработанная технологическая схема совместного размола семян чечевицы (67%) и льна (33%) включала I–III драные системы, шлифовочную систему, вымольную систему, 1-ую–3-ю размольные системы. При исследовании физико-химических, биохимических показателей установлено, что по механическим характеристикам белково-жировой концентрат был близок к соответствующим показателям пшеничной муки. Значительная доля альбумино-глобулиновой фракции растворимых белков (88%), а также высокое содержание наиболее дефицитной эссенциальной α -линоленовой кислоты (6,11% против 0,05% в пшеничной муке с учетом общего содержания жира) свидетельствуют о высокой пищевой и биологической ценности полученного продукта. Оценка влияния белково-жирового концентрата на показатели готовых изделий (крекеры, вафли) показала, что его внесение в количестве 15% от общего объема муки не только не ухудшает, а по некоторым критериям (цвет, форма, текстура, вкус) даже улучшает органолептические показатели. Высокая суммарная органолептическая оценка (32 балла) свидетельствует о стандартном качестве полученного продукта [19].

Расчеты методом баланса аминокислотных скоров с использованием оригинальной программы в среде «Wolfram Mathematica — 10», позволили оценить интервал варьирования добавки муки из широ-

кого спектра бобовых культур, в пределах которого происходит дополнение белка смеси до полноценного. Объектами исследования служили мука из пшеницы, ржи и тритикале, чечевицы, соевого шрота, маша, гороха, белой фасоли, нута, а также мука из конопляного жмыха (обрушенного) и льняного шрота [20,21].

Разработке многокомпонентных (комбинированных) круп посвящен цикл работ, проводимых во ВНИИЗ [22,23], в том числе, совместно с коллегами из «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН [24], Московского государственного университета технологий и управления им. К. Г. Разумовского [25], Федерального научного центра зернобобовых и крупяных культур [26]. Научно обоснованы и смоделированы следующие виды комбинированных круп:

- двухкомпонентные (всего 23 варианта): 1-й компонент — крупы ячневая, кукурузная, рисовая; 2-й компонент — бобовые: нут, чечевица, фасоль, горох;
- трехкомпонентные (всего 27 вариантов): 1-й компонент — крупы ячневая, кукурузная, рисовая; 2-й компонент — бобовые: нут, чечевица, фасоль, горох; 3-й — компонент: саго, конопля, кунжут.

Авторы отмечают, что требованиям формальных критериев оценки по сбалансированности состава (аминокислотный скор и соотношение белки/углеводы) отвечают двухкомпонентная ячневая крупа с добавлением бобовых культур — нута, чечевицы, фасоли, гороха и все варианты трехкомпонентных круп [20,24,26]. Для отбора перспективных многокомпонентных круп необходимы дополнительные показатели их потребительских свойств, в первую очередь, органолептические. Органолептическая оценка (внешний вид, консистенция, запах, вкус) каш из комpositных двухкомпонентных круп показала, что присутствие в смеси чечевицы (30%) придает приятный сладковатый вкус при отсутствии бобового привкуса; а присутствие нута и гороха наоборот — выраженный бобовый привкус за исключением кукурузно-нutowой, ячменно-нutowой и кукурузно-гороховой. Дегустация каши из трехкомпонентной кукурузно-нutowо-конопляной крупы (с добавлением конопли 5%) также дала хорошие результаты: отсутствие бобового привкуса, нежный, сладкий вкус [22,26].

Еще один актуальный аспект, связанный с созданием сбалансированных продуктов лечебно-профилактического и специального назначения, это снижение относительно высокого гликемического индекса, характерного для традиционных круп (ГИ >40 ед.), что ограничивает их использования в питании людей, страдающих диабетом 2-го типа. Было установлено, что добавка крупы из бобовых культур существенно снижает ГИ. Кроме этого, ситуацию можно еще улучшить, добавляя в смесь крупы из топинамбура. При этом, получаемая комбинированная крупа содержит полноценный белок и сохраняется соотношение белки / углеводы, отвечающее требованиям рационального питания [23].

Сегодня совершенно очевидно, что мировой тренд развития пищевой индустрии нацелен на направленную трансформацию сырья и создание многокомпонентных продуктов питания, химический состав которых отвечает современным требованиям нутрициологии. Это относится и к продуктам на зерновой основе: комpositным крупяным и мучным смесям, специализированным видам хлеба и мучным кондитерским изделиям, обогащенным эссенциальными компонентами. К этому ряду продуктов следует отнести и различные виды муки и круп, получаемые по разработанным во ВНИИЗ технологиям.

Произведенная таким образом продукция может быть востребована предприятиями малого и среднего бизнеса, и, в конечном счете, поможет преодолеть проблему несбалансированного рациона питания различных групп населения.

3.2. Качество и безопасность зерна. Разработка сроков и норм безопасного хранения зернопродуктов

Исследования в области оценки качества и безопасности зерна и продуктов его переработки были и остаются приоритетными в научной деятельности ВНИИЗ и охватывают широкий спектр фундаментальных и практических вопросов. Анализ публикаций за последние 5 лет показывает, что к ним относятся: стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации (переработка и использование зерна) [27,28]; современная оценка хлебопекарных свойств российской пшеницы [29], в том числе и требования к качеству сильной и ценной пшеницы в России [30]; разработка требований к качеству пшеничной муки целевого назначения [31]; изучение технологических, реологических, физико-химических, биохимических свойств зерна и зернопродуктов [32–34]; разработка и усовершенствование инструментальных методов анализа качества муки [35–37]; микробиологические аспекты безопасности зерна и муки [38,39].

Как отмечают ученые ВНИИЗ в своем аналитическом исследовании [28], развитие зернового комплекса России, всестороннее использование его потенциала возможно при условии системного решения вопросов, начиная от производства зерна и заканчивая экспортом зерна и продуктов его переработки, за счет создания в основных зернопроизводящих регионах страны агропромышленных кластеров [29,30].

Всесторонняя оценка качества зерна и разработка требований к зернопродуктам целевого назначения, их неукоснительное соблюдение на практике позволяет обеспечить необходимые свойства в готовых мучных изделиях как на крупных промышленных предприятиях, так и на предприятиях малого бизнеса и пекарнях. Учеными ВНИИЗ на основе всесторонних, комплексных исследований были разработаны требования к целевому использованию пшеничной муки для производства различных мучных кондитерских изделий, например, вафель [31], крекеров [32], а также мучных кулинарных замороженных изделий видапельменей [33].

Так, при разработке специализированных требований к качеству пшеничной муки для кондитерской промышленности было установлено, что муку с количеством клейковины 20–23% использовать для изготовления вафель нельзя. При количестве клейковины 25–27% и 23–25% качество клейковины должно быть не ниже 50 ед. ИДК (I хорошая и II удовлетворительно слабая), число падения 200–300 с, упруго-эластичные свойства муки, а именно отношение упругости теста к его растяжимости, которое характеризует такой показатель альвеографа как форма кривой Р/Л — не более 1,8 и не более 2,0 соответственно; энергия деформации теста — не более 190×10^{-4} Дж; степень разжижения — не более 100 ЕВ (единицы валориграфа) средний диаметр вафель — 97–99 мм и 97–107 мм; жёсткость вафельного листа — не более 0,200 Н, кгс [31].

С помощью корреляционного и регрессионного анализа удалось выявить взаимосвязь таких показателей муки как количество и качество клейковины, число падения, крупность, зольность и ряда реологических показателей теста с показателями качества крекера, выпеченного методом пробной лабораторной выпечки, разработанного во ВНИИЗ и установить нормы для этих показателей [31,32].

Авторы подчеркивают необходимость создания системы классификаций зерна и муки разного целевого назначения, которая учитывала бы все значимые показатели качества. Это, в свою очередь, позволит производителям мучных кондитерских и кулинарных изделий избежать таких проблем, как деформация теста при раскатке и формовке изделий, а потребителю — получить качественную и безопасную продукцию [29].

Еще одним важным аспектом работы ВНИИЗ, отраженным в научных публикациях, является разработка и усовершенствование методов анализа качества зерна и зернопродуктов. К ним следует отнести: изучение возможности использования инструментальных методов анализа качества муки целевого назначения [34], использование системы Миксолаб (Chopin, Франция) для сравнительной оценки хлебопекарных свойств российской пшеницы [40], установления взаимосвязи между количеством поврежденного крахмала и технологическими свойствами пшеничной муки с использованием анализатора поврежденного крахмала Y41 (YUCEBAS MACHINERY, Турция) [35], разработка экспресс-метода спектроскопии в ближней инфракрасной области для определения влажности, белка и количества клейковины [37]; а также разработку метода пробной лабораторной выпечки крекера для оценки качества пшеничной муки.

Учеными ВНИИЗ изучена возможность определения хлебопекарных свойств пшеницы по реологическим свойствам теста приборным методом с использованием системы Миксолаб (Chopin, Франция) на этапе поступления зерна на мукомольное предприятие. Цель исследования — изучить возможность применения прибора Миксолаб для оценки хлебопекарных свойств зерна и муки из российской пшеницы и выявить взаимосвязь между зарубежной и отечественной системами оценки качества пшеницы. Приведены результаты исследований качества российской мягкой пшеницы (67 образцов), выращенной в разных почвенно-климатических условиях и обладающих широким диапазоном показателей качества: количество клейковины варьировало от 5,7 (Южный федеральный округ) до 33,2% (Приволжский федеральный округ), качество клейковины — от 9 (Центральный ФО) до 128 ед. ИДК (ЮФО), число падения — от 66 до 449 с. (Приволжский ФО). По показателям профайлера (радиальная диаграмма), полученного в классическом режиме «Chopin Wheat+» установлено, что исследуемые образцы зерна характеризовались в среднем повышенной водопоглотительной способностью, максимальной вязкостью и ретроградацией крахмала, пониженной амилолитической активностью и устойчивостью теста. Расчет пар-

ной корреляции между показателями профайлера и качества зерна пшеницы выявил умеренную связь водопоглощения с количеством клейковины (0,466) и числом падения (0,384), а также тесную связь вязкости, амилолитической активности и ретроградации крахмала с числом падения (0,659; 0,821 и 0,866 соответственно). Индекс «глютен+» не показал устойчивой связи ни с одним из показателей качества зерна, но имелась слабая связь с числом падения. Регрессионным анализом выявлена наиболее тесная криволинейная связь между крутящим моментом и числом падения на участках клейстеризации и ретроградации крахмала [40].

Использование анализатора поврежденного крахмала Y41 (YUCEBAS MACHINERY, Турция) позволило исследователями ВНИИЗ выявить существенное влияние количества поврежденного крахмала в муке на физико-химические показатели качества муки и реологические свойства теста по показаниям фаринографа Y38 (YUCEBAS MACHINERY, Турция) [35,36]. Известно, что качество хлеба и хлебобулочных изделий напрямую зависит как от состояния белково-протеиназного, так и углеводно-амилазного комплексов муки, из которой они выпекаются. В характеристике последнего важное значение имеет количество поврежденного крахмала, образующегося в процессе переработки зерна в муку. В то же время, несмотря на свое важное значение, этот показатель редко контролируется на мукомольных предприятиях, тогда как систематическое определение количества поврежденного крахмала в условиях производства позволяет осуществлять контроль за ходом мукомольного процесса: проверять параллельность и износ мельничных валков при размоле, оптимизировать давление, что в свою очередь оказывает влияние на выход готовой продукции, ее цвет, реологические свойства теста и сроки хранения.

Приведенные в работе результаты исследования показали прямую корреляционную зависимость между количеством поврежденного крахмала в муке и показателями белизны (коэффициент корреляции составил 0,85) и качеством клейковины (коэффициент корреляции составил 0,42). Отрицательная корреляция наблюдалась у показателя количества клейковины (–0,89) и числа падения (–0,93).

При анализе реологических свойств теста было отмечено, что количество поврежденного крахмала коррелировало со всеми показателями: водопоглощением (0,99), временем замеса теста (–0,89), устойчивостью теста (–0,88), разжижением (0,99), валориметрической оценкой (0,96). Наилучшей суммарной оценкой хлеба обладали пробы с количеством поврежденного крахмала в диапазоне от 19 до 23 UCD. Дальнейшее увеличение количества поврежденного крахмала приводило к снижению суммарной оценки выпечки хлеба, отмечалась неравномерная окраска корки хлеба.

Значительный практический интерес представляет разработка экспресс-метода спектроскопии в ближней инфракрасной области для определения влажности, белка и количества клейковины с использованием отечественных ИК-анализаторов, выполненная совместно с исследователями Уральского НИИ метрологии им. Д. И. Менделеева (Екатеринбург) и ООО «ЭКАН» (Санкт-Петербург) [37]. Межлабораторные испытания позволили оценить процедуру контроля точности измерений в соответствии как с применением стандартных образцов утвержденного типа, так и стандартизованных методик (методики сравнения), получены значения пределов погрешности, воспроизводимости и точности. Авторы отмечают, что создание и внедрение в практику производства и переработки зерна стандартизированного экспресс-метода определения влажности, белка, количества клейковины методом спектроскопии в ближней инфракрасной области с применением ИК-анализаторов позволит обеспечить элеваторы, хлебоприёмные предприятия и испытательные лаборатории быстрым и надежным методом оценки качества зерна, обеспечивающим систематический контроль на всех этапах его хранения и переработки [37].

Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года² предусматривает разработку методов обоснования сроков годности пищевой продукции и совершенствование системы мониторинга качества и безопасности пищевой продукции. Снижение потерь продовольственного зерна пшеницы при хранении в масштабах страны потенциально даёт результаты, схожие с повышением валового сбора. В Российской Федерации для продовольственного зерна пшеницы, являющегося одним из основных продуктов питания и экспорта, в настоящее время не существует методологии определения научно-обоснованных сроков

² Стратегия повышения качества пищевой продукции в Российской Федерации до 2030 года. Утверждена распоряжением правительства РФ от 29 июня 2016 г. № 1264-р. — 16 с.

безопасного хранения, что не гарантирует сохранения качества, не обеспечивает безопасность при длительном хранении и приводит к потерям зерна. Не установлены нормативы содержания мочевой кислоты, обеспечивающие безопасность зерна при хранении.

Учёными ВНИИЗ были изучены изменения биохимических и физико-химических показателей продовольственного зерна пшеницы в процессе длительного лабораторного хранения: кислотность, кислотное число жира, число падения, качество клейковины, микробиологические показатели и установлено, что при хранении продовольственного зерна пшеницы наиболее закономерно изменялось значение показателя кислотного числа жира (КЧЖ) [41,42].

Кроме того, были проведены исследования по оценке органолептических показателей продовольственного зерна пшеницы при установлении норм свежести и годности по органолептическим показателям муки, выработанной из исследуемых образцов зерна. В отличие от проведения органолептической оценки при установлении сроков годности метод определения КЧЖ является наиболее простым в определении, достаточно экономичным, информативным, не длительным по времени и не требующим большого числа высококвалифицированных дегустаторов. Однако, для определения достоверности любого аналитического метода как способа оценки продукта важную роль играет степень корреляции результатов измерений с органолептическим качеством пищевого продукта.

С этой целью учёными ВНИИЗ был проведен ряд исследований. Для установления взаимосвязи КЧЖ продовольственного зерна пшеницы и КЧЖ выработанной из него муки были отобраны 35 проб зерна пшеницы со значениями КЧЖ от 9,1 до 53,4 мг КОН на 1 г жира. Из каждой отобранной пробы по стандартной методике лабораторного помола вырабатывалась мука высшего сорта.

Была установлена прямолинейная зависимость изменения КЧЖ муки, выработанной из исходных проб зерна, от КЧЖ зерна с высоким коэффициентом детерминации, что свидетельствует о сильной корреляционной зависимости. Полученные результаты с высокой достоверностью ($R=0,9709$) позволили считать норму свежести продовольственного зерна пшеницы по значению КЧЖ, равному 29 мг КОН на 1 г жира, норму годности — 50 мг КОН на 1 г жира [43].

Известно, что свежесыгранная пшеничная мука сразу после помола в хлебопечении не используется. Она должна пройти процесс созревания. В зависимости от ряда факторов сроки созревания пшеничной муки варьируются от 2 до 7 недель. Во время созревания в пшеничной муке проходят важные биохимические процессы, в результате которых хлебопекарные свойства муки существенно улучшаются. Необходимо отметить, что слишком длительное хранение ее после помола, даже в условиях, исключающих ее порчу, может привести не к улучшению, а к ухудшению ее хлебопекарных свойств [44,45].

Органолептическую оценку и установление взаимосвязи КЧЖ зерна и выработанной из него муки проводили после, так называемого, процесса «отлёжки». В ходе данной работы сотрудниками ВНИИЗ были исследованы изменения показателей качества пшеничной муки в процессе её созревания и установлены сроки созревания по показателю КЧЖ [46,47].

В настоящее время нет научно-обоснованных сроков хранения зернопродуктов при различных температурных условиях, не установлена зависимость сроков годности продукта от исходного значения КЧЖ в сырье, что не гарантирует в достаточной мере сохранение качества и не обеспечивает безопасность при реализации.

Действующие сроки хранения не учитывают исходную величину КЧЖ зернопродукта, при этом на хранение может быть заложен зернопродукт с разным исходным качеством; условия хранения могут изменяться в зависимости от типа хранилища, зоны хранения, а также от фасовки и упаковки продукта, поэтому говоря о сроках безопасного хранения необходимо учитывать совокупность всех воздействий и условий, возникающих в процессе хранения зернопродуктов.

Выявлен высокий уровень линейной связи между показателем КЧЖ и органолептическими свойствами крупы манной и каши, сваренной из этой крупы, что позволяет сделать вывод о возможности использовать показатель КЧЖ для характеристики органолептических свойств крупы манной и каши, а также для установления норм свежести и годности для манной крупы марки «М». Разработана методика оценки органолептических показателей крупы манной марки М и сваренной из неё каши. По результатам проведённых дегустаций и статистического анализа, впервые установлена предварительная норма свежести для крупы манной марки «М» по величине кислотного числа жира, она составила 90–95 мг КОН на 1 г жира. Норма годности для крупы манной марки «М» по величине кислотного числа жира составила 105–110 мг КОН на 1 г жира [48–50].

Кроме установления критериев хранимостпособности зернопродуктов важно разработать инструментальные средства оперативного мониторинга состояния зерновой массы в хранилищах, что потенциально предоставляет возможность своевременного применения технологических корректирующих воздействий. Показано, что поражение зерна вредными насекомыми и клещами не только снижает его массу и ухудшает качество, но и делает зерно ядовитым. Поэтому рядом нормативных документов установлен показатель безопасности, связанный с загрязненностью зерна продуктами жизнедеятельности вредителей хлебных запасов (мочевой кислотой), и определены его максимально допустимые уровни (МДУ) по количеству насекомых и клещей в зерне [51]. Но в действующих нормативных документах этот показатель трактуется неоднозначно.

Определение загрязненности зерна вредителями хлебных запасов по их количеству в межзерновом пространстве в ряде случаев (например, после сепарирования зерна) дает ложную картину его фактической безопасности для питания людей, является лазейкой для вывода на рынок фальсифицированной зерновой продукции и приводит к периодическому подтапливанию населения при питании продуктами, выработанными из ядовитого зерна.

В связи с чем, учёными ВНИИЗ на основе проведённых исследований разработана методика определения мочевой кислоты в зерне и зернопродуктах с помощью ВЭЖХ [52,53]. С помощью анализа мочевой кислоты в зерне и зернопродуктах, установлена зависимость содержания мочевой кислоты в зерне от плотности заселения его разными видами вредителей хлебных запасов. Показано, что увеличение числа жуков в зерне влечет за собой повышение содержания в нем мочевой кислоты. Зависимость эта описывается уравнением прямой линии. Совпадение фактических и теоретических данных доказано расчетом коэффициента Пирсона. При этом коэффициент корреляции ($R=0,9967$) вплотную приближается к максимальной его величине — единице [54–56].

Проведены исследования распределения мочевой кислоты в различных анатомических частях зерна, семян и выработанных из них продуктах с целью определения возможности и разработки технологий получения продуктов питания с минимальным содержанием мочевой кислоты. Установлено, что из 460 мг мочевой кислоты (как суммы ее количества во всех фракциях помола) 252 мг или 55% пришлось на продукт от 1-й драной системы, который по массе составляет всего 6,75% от суммы масс всех продуктов.

На основе полученных результатов показана возможность нивелирования отрицательного воздействия насекомых на зерно путем значительного, более чем наполовину, снижения содержания мочевой кислоты в продуктах помола за счет удаления небольшого количества (около 7%) выхода муки первого сорта с 1-й драной системы [57].

Таким образом, разработка сроков и норм безопасного хранения муки пшеничной, ржаной, крупы манной, рисовой, овсяной, гречневой, пшенной по показателю КЧЖ, включенного в межгосударственные стандарты, а также научно-обоснованный подход к мероприятиям по защите хлебных запасов от вредителей позволяют своевременно обнаруживать некачественную продукцию, выявлять фальсификацию и недобросовестных производителей, тем самым устранить риски и снизить негативные последствия для здоровья потребителей.

С позиции микробиологической безопасности зерна интересными представляются экспериментальные данные по изучению воздействия гамма-лучей и ускоренных электронов на поверхностную микробиоту зерна пшеницы. Использование ионизирующих излучений, по заключению авторов, является эффективным и безопасным способом стерилизации, который обеспечивает снижение на 60–80% количество бактерий уже при поглощенной дозе облучения 190 Гр, а при дозе 372–726 Гр начинается подавление развития грибов хранения *Aspergillus* sp. и *Penicillium* sp. На грибы *Fusarium* sp. и *Alternaria* sp. γ -излучение воздействует не так эффективно: максимальное воздействие — 90%-ое снижение роста и развития грибов (максимальное воздействие) было отмечено при дозе облучения 1000 Гр [38,39].

Фузариоз зерна — еще одна острая проблема — заболевание, которое широко распространено во всем мире и связанное с поражением посевов грибами рода *Fusarium*, что приводит к накоплению в зерне опасных для здоровья человека микотоксинов. Исследователи ВНИИЗ провели сравнительную оценку различных методов обнаружения фузариозных зерен и выявления загрязнения дезоксиниваленолом в анализируемых образцах. Результаты исследований свидетельствуют о хорошей корреляционной зависимости между микробиологическими, микотоксикологическими показателями и визуальным определением пораженных фузариозом зерен. При этом авторы отмечают, что иммуноферментный анализ (ИФА) является более

объективным, так как основан на высокоспецифичной реакции «антиген-антитело»; он характеризуется высокой чувствительностью и быстротой получения результатов [39].

Анализ публикаций свидетельствует о широком спектре задач, касающихся качества зерна и его безопасности. Они направлены на выявление проблемных вопросов, обеспечения контроля качественных показателей зерна на разных стадиях: производство, хранение, переработка, с целью получения безопасной мучной и крупяной продукции надлежащего качества.

3.3. Вторичные (побочные) продукты переработки зерна — ценное сырье для глубокой переработки

Зерновые отруби, продукты шелушения, обрушения, шлифования — побочные (вторичные) продукты, получаемые в процессе переработки зерна на мукомольных и крупяных предприятиях. Это дополнительный ценный ресурс для получения пищевых и кормовых ингредиентов — обогащающих компонентов сбалансированных рецептур широкого спектра пищевых продуктов и кормов [58–60]. Их принято относить к возобновляемым и доступным сырьевым ресурсам [61].

Количество вторичных сырьевых ресурсов, образующихся при переработке зерна на мукомольных заводах, составляет в среднем 21,3% к объёму производства муки. При переработке зерна в крупку количество вторичных сырьевых ресурсов варьирует в достаточно широком диапазоне, например, при переработке пшеницы в крупку оно достигает 37%, из них 30% приходится на мучку, а при переработке проса в пшено образуется в качестве побочного продукта 7,5% мучки [62].

В настоящее время использование в пищевых технологиях отрубей (преимущественно однокомпонентных — пшеничных или ржаных) невелико. Например, для обогащения клетчаткой некоторых видов хлебобулочных изделий, мультизерновых видов хлеба, их включают в состав поликомпонентных мучных смесей. Кроме того, как самостоятельный продукт зерновые отруби представлены в чистом виде и с различного рода добавками — сухофрукты, ягоды, орехи и т. п. Наряду с этим активно разрабатываются способы использования различных зерновых отрубей при получении зерновых дистиллятов [63,64].

Богатый химический состав вторичных продуктов, в частности зерновых отрубей: макро- и микронутриенты, растворимые и нерастворимые пищевые волокна, белки, ферменты и другие минорные биологически активные соединения, сосредоточенные в периферийной части зерновки, наряду с высокими объемами производства свидетельствуют о необходимости и целесообразности их использования для дальнейшей глубокой переработки [65,66].

Так, во ВНИИЗ были получены растворимые и нерастворимые пищевые волокна из вторичных продуктов переработки овса, ячменя, тритикале, изучены их водопоглотительная и водоудерживающая способности, реологические свойства коллоидных систем, содержащих пищевые волокна. Показана возможность использования ингредиентов, содержащих пищевые волокна в качестве стабилизаторов пищевых систем [67].

Еще одно направление глубокой переработки, которое активно разрабатывается — получение зерновых гидролизатов и структурно-модифицированных отрубей с использованием ферментных препаратов целлюлолитического, протеолитического, фитолитического действия и композиций на их основе [63,64].

Последнее стало возможным благодаря бурному развитию биотехнологии, в частности производства микробных ферментных препаратов разной специфичности действия. Это, в свою очередь, дало новый импульс в развитии ферментативного катализа как современного инструментария глубокой переработки растительного сырья, в том числе зерновых, бобовых и масличных культур. Хорошо известно, что использование ферментных препаратов (ФП) для решения различных технологических задач в пищевой промышленности в настоящее время является достаточно распространенным приемом [68,69]. Целью применения ФП при производстве продуктов питания являются интенсификация биохимических процессов, лежащих в основе той или иной пищевой технологии, а также увеличение выхода продукта, улучшение его качественных характеристик [65,69].

Использование ферментов в качестве инструментария в глубокой переработке является актуальной научно-практической задачей и активно изучается с использованием различного сырья — животного (мясо, молоко и продукты их переработки), растительного (зерновые, бобовые, масличные культуры и продукты их переработки), биомассы дрожжей и др. Преимуществом ферментативного способа

модификации белков являются мягкие режимы проведения реакций, возможность регулирования степени гидролиза, определенная направленность и сохранение биологической ценности [66,70].

В результате модификации белковых компонентов зерна и продуктов его переработки с применением ферментных препаратов протеолитического действия могут быть получены продукты гидролиза с определенным профилем пептидов и набором аминокислот, обладающие специфическими свойствами [71,72].

Анализ публикаций по результатам исследований ВНИИЗ, направленных на разработку способов ферментативной модификации различных видов отрубей отражают классический подход к работе с ферментами, ферментными препаратами и их композициями, алгоритм работы заключается в следующем:

- изучение химического состава и биохимических особенностей природных субстратов — одно-, двух-, трехкомпонентных отрубей.
- скрининг ферментных препаратов: изучение основных кинетических характеристик ФП при действии на стандартный и природные субстраты (определение начальной скорости ферментативной реакции, оптимумов температуры и pH, оптимальная концентрация фермента, насыщающая концентрация субстрата); эффективность действия ферментных препаратов при оптимальных условиях.
- разработка мультэнзимных композиций (МЭК) с учетом специфичности действия, оптимумов pH и температуры, эффективности (способности активно гидролизовать соответствующие субстраты — белки, некрахмальные полисахариды, фитин).
- учет автолитических процессов под действием собственных (эндогенных) ферментных систем и возможности синергетического эффекта при действии ФП разной специфичности (в данном случае ФП целлюлолитического и протеолитического действия).

Образцы композитных отрубей были получены в результате совместного размола зерна пшеницы, семян чечевицы и масличного льна. Изучение биохимических особенностей белково-протеиназного, углеводно-амилазного и липидного комплекса трех видов композитных отрубей: пшенично-льняные; пшенично-чечевично-льняные; чечевично-льняные отражены в работах [58,59,61]. Во всех образцах отрубей выявлено высокое содержание белка, жира, клетчатки, а доля альбумино-глобулиновой фракции растворимых белков составила 75, 78 и 86% соответственно. Внесение в помольную смесь семян льна приводит не только к увеличению общего количества жира, но и существенно влияет на жирнокислотный состав, увеличивая содержание ПНЖК. При этом для чечевично-льняных отрубей характерно наиболее благоприятное соотношение линолевой кислоты (ω -6) к наиболее дефицитной α -линоленовой (ω -3) кислоте, которое составило 1: 4,2. Изучение основных гидролитических ферментов (протеаз, амилаз, липаз) показало, что их активность в отрубях выше, чем в муке. Присутствие семян чечевицы увеличивает активность нейтральных и кислых протеиназ в 2 и более раза. Кроме того, в чечевично-льняных отрубях выявлено высокое содержание кислых липаз (преимущественно липазы масличных культур). Уникальный состав композитных отрубей свидетельствует о возможности их использования как обогащающего компонента при создании новых сбалансированных продуктов, в первую очередь, на зерновой основе.

За последние 5 лет учеными ВНИИЗ проведены исследования и разработаны способы ферментативной модификации различных видов отрубей: пшеничных [63], ржаных [63], тритикальных [67], пшенично-льняных [73,74], пшенично-чечевично-льняных [75], с использованием широкого спектра зарубежных и отечественных ферментных препаратов протеолитического действия: «Нейтраза MG1,5», «Алкалаза FG» (Novozymes, Дания); «Протеаза GC-106» (Döhler, Германия), «Дистицим Протацид Экстра» (Genencor, США); целлюлолитического действия: «Шеарзим 500 L», «Вискоферм L», Целлюкласт 1,5 L, «Сахзайм Йилд», «Вискозима L» (Novozymes, Дания), «Дистицим GL» (Erbslön, Германия), «Целловиридин G20X» (Бердский завод биопрепаратов, Россия), «Ксиланаза», «Целлюлаза кл. 14» «Паллпор 2» и комплексного препарата «Пенициллопесинксиланаза», содержащего наряду с ксиланазой активностью и активную грибную протеиназу (Микробиопром, Россия).

Как отмечают авторы, использование МЭК на их основе позволяет увеличить количество растворимого белка на 37,5% (МЭК-1); в 2 раза (МЭК-2); на 26% (МЭК-3); на 43% (МЭК-4); на 26% (МЭК-5); на 22% (МЭК-6) и на 14% (МЭК-7) по сравнению с использованием отдельных ферментных препаратов. Это объясняется комплексным последовательным воздействием целлюлолитических и протеолитических ферментных препаратов и, очевидно связано с тем, что деградация гемицеллюлоз увеличивает доступность белков для действия протеолитических ферментов [73].

Установлено, что использование МЭК в состав которых входят исследуемые препараты отечественного производства способны активно воздействовать на природный субстрат — пшенично-льняные отруби при более высокой дозе — 1,0 ед. КСА/г отрубей против 0,3–0,4 КСА/г отрубей для импортных ферментных препаратов, а полученные данные по функционально-технологическим свойствам биомодифицированных отрубей свидетельствуют об их зависимости от состава МЭК, что дает возможность прогнозировать и регулировать их свойства для целенаправленного использования в различных пищевых технологиях [73].

Еще одним направлением изучения и использования гидролизатов, полученных при ферментативной модификации зерновых отрубей, являются технологии брожения, для обеспечения сбалансированного азотистого и фосфорного питания дрожжей рода *Saccharomyces*. Ферментативный гидролиз белков и фитина позволяет обеспечить их переход в растворимые формы (фосфат ионы, свободные аминокислоты, низкомолекулярные пептиды), что, в конечном счете, положительно сказывается на их усвоении дрожжами. Для этого наряду ферментными препаратами «Агроксил Премиум», «Пенициллопепсин (Агрофермент, Россия), Нейтраза 0,8L (Novozymes, Дания), был использован отечественный препарат фитазы «Агрофит» (Агрофермент, Россия), расщепляющей фитин (инозитолгексафосфорная кислота), который содержится в периферийной части зерновки и переходит в отруби при переработке зерна на мукомольных предприятиях.

Совместные с ВНИИ пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности исследования, проведенные на однокомпонентных (пшеничных, ржаных) [63] и поликомпонентных отрубях (пшенично-льняных, пшенично-чечевично-льняных) [63,64] с использованием двух вариантов МЭК: МЭК-1 («Агроксил Премиум» + «Агрофит» + «Пенициллопепсин + Оризин»; МЭК-2 («Агроксил Премиум» + «Агрофит» + «Нейтраза 0,8L»), показали, что количество редуцирующих веществ с использованием МЭК возросло в 2,3–3,5 раза; растворимого белка в 3–6,4 раза; фосфат ионов в 3 раза по отношению к соответствующему контролю. Методом гель-хроматографии установлено значительное (в 3...4 раза) повышение доли низкомолекулярных пептидов и аминокислот (М. м. <1000 Да). Концентрация наиболее ценных аминокислот, с точки зрения азотного питания дрожжей (по данным ВЭЖХ): аспарагиновой кислоты, аргинина в опытных гидролизатах одно- и трехкомпонентных отрубей повышалась, в среднем в 2,5–3,0 раза; валина в опытных образцах гидролизатов по сравнению с исходным возрастало в 4–5 раз; гистидина и изолейцина в 2,0–2,5 раза [63,64]. Это позволило авторам позиционировать полученные таким образом зерновые гидролизаты, как альтернативу импортным активаторам брожения на основе автолизатов осадочных дрожжей [64].

Ученые Сибирского филиала ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН совместно с Сибирским федеральным научным центром агробиотехнологий разработали физические и биохимические методы повышения биологической ценности ржаных и пшеничных отрубей с целью получения кормов и пищевых продуктов лечебно-профилактического назначения. Созданы углеводные и углеводно-белковые ингредиенты на основе продуктов переработки зерна, получена белково-витаминная мука сухим способом [76,77], изучены возможности получения продукта специализированного назначения с использованием биотехнологических методов переработки ржаных и пшеничных отрубей [78].

Изучение влияния скармливания экспериментальных добавок на сохранность поголовья цыплят (японские перепела), интенсивность их роста, мясную продуктивность, химический и аминокислотный состав мяса (фарша), гематологические показатели выявило положительную динамику. Введение в комбикорм перепелов белково-витаминной муки из пшеничных отрубей в чистом виде и с ферментным препаратом фитазы — Фидбест Р5000 GT (Сиббиофарм, Россия) повысило сохранность птицы на 3,01%, среднесуточный прирост живой массы на 3,09 и 3,44%, увеличение концентрации кальция и фосфора в мясе перепелов при практически равных затратах кормов на единицу продукции [76].

Таким образом, использование микробных ферментных препаратов было и остается важным биотехнологическим приемом совершенствования пищевых технологий, а также современным инструментарием глубокой переработки вторичного сырья, в частности зерновых отрубей с целью получения продуктов заданного состава и функционально-технологических свойств, что позволяет предположить возможные области их применения в кормопроизводстве и различных отраслях пищевой индустрии с целью повышения

пищевой и биологической ценности готовых изделий, придания им определенных свойств, в том числе и функциональных.

4. Выводы

Анализ публикаций ВНИИЗ, в том числе и при участии ученых смежных областей знаний, свидетельствует о том, что накоплен большой экспериментальный материал, получены новые знания о процессах, происходящих в зерне на разных физиологических стадиях (созревания, покоя, прорастания), а также при переработке и хранении с учетом многочисленных факторов, влияющих на качество и безопасность зерна и продуктов его переработки.

Большое количество публикаций посвящено разработке инновационных технологий переработки зерна и композитных зерносмесей на основе зерновых, бобовых, масличных культур, разных видов орехов, включая глубокую переработку вторичных (побочных) продуктов с использованием ферментативного катализа, что позволит обеспечить получение научно обоснованных композитных продуктов мукомольного и крупяного производства сбалансированного состава, обогащенных эссенциальными компонентами. Также важно развитие оценки технологических, биохимических, реологических и органолептических показателей зерна и зернопродуктов, в первую очередь, муки, теста, хлеба, а также готовых мучных кондитерских и замороженных кулинарных изделий, разработка требований к зерну и муке для производства различных групп и видов кондитерских, кулинарных и хлебо-булочных изделий. Требования целевого использования зерна и муки для хлебопекарной, кондитерской, макаронной, кулинарной отраслей, отраженные в научных публикациях актуальны и несомненно будут полезны как при планировании дальнейших исследований в этой области, так и для заинтересованных индустриальных партнеров.

Проводимые исследования по оценке микробиологической безопасности зерна — это залог безопасности для здоровья населения нашей страны, в рационе которого хлеб — один из главных продуктов на столе. В частности, в настоящее время актуальна разработка методов контроля фузариозных зерен.

Чрезвычайно важны работы по предотвращению заражения зерна вредителями хлебных запасов, научно обоснованные подходы к мероприятиям по защите хлебных запасов и разработка комплексных высокоэффективных фунгицидных препаратов, метода определения мочевой кислоты с использованием ВЭЖХ в зерне и зернопродуктах, загрязненных насекомыми (*Sitophilus oryzae* (L.)).

Интерес представляют публикации, связанные с научным обеспечением и разработкой методов для определения сроков и норм безопасного хранения зерна и широкого спектра зернопродуктов с использованием интегрального показателя — КЧЖ.

В то же время анализ публикаций выявил, что недостаточно внимания уделяется изучению таких важных актуальных вопросов, как получение, обобщение и анализ данных по качественным показателям зерна с применением системы новых целевых классификаций его потребительских свойств; разработка прогностической модели определения и прослеживаемости норм безопасного хранения и сроков годности от зерна до продуктов его переработки на основе параметров качества и безопасности зерна и зернопродуктов.

Несмотря на разработку ВНИИЗ новой классификации зерна пшеницы в соответствии с задачами, поставленными в «Долгосрочной стратегии развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г.»³ в стране полностью отсутствует учет сильной и ценной пшеницы, и назрела задача установления тенденций и динамики изменения свойств зерна пшеницы, получения объективной и полной картины по качественному потенциалу зернового сырья страны с целью его прогнозирования и наиболее эффективного и рационального использования. В свою очередь, это вызывает необходимость разработки новых показателей, коррелирующих с зарубежными, для объективной и точной оценки качества зерна, получение и формирование массива статистических данных с применением системы новых целевых классификаций его потребительских свойств, учитывающих требования внешних рынков, а также рост потребностей населения не только в качественном хлебе, но и других мучных изделиях. Все это должно способствовать созданию технологий с применением современного оборудования по направленному управлению биопотенциалом зернового сырья, направленному ферментативному катализу для получения продуктов глубокой переработки целевого назначения.

³ Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 г. Утверждена распоряжением Правительства РФ от 10 августа 2019 г. № 1796-р

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Кузьмин, С. В., Русаков, В. Н., Сетко, А. Г. (2024). Оценка состояния фактического питания населения Российской Федерации. *Гигиена и санитария*, 103(1), 58–66. [Kuzmin, S. V., Rusakov, V. N., Setko, A. G. (2024). Assessment of the state of actual nutrition in the population of the Russian Federation. *Hygiene and Sanitation*, 103(1), 58–66. (In Russian)] <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2024-103-1-58-66>
- Тарасенко, Н. А., Баранова, З. А. (2016). Современные исследования в нутрициологии и профилактике нерационального питания. *Известия Вузов. Пищевая технология*, 4(352), 6–9. [Tarasenko, N. A., Baranova, Z. A. (2016). Current research in nutritiology and prevention of nutritional improper. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 4(352), 6–9.]
- Митин, С. Г., Чеботарев, С. Н., Никитин, И. А., Аничкина, О. А., Иванова, Н. Г. и др. (2022). Современные тенденции в употреблении хлебопродуктов в РФ и подходы к разработке хлебобулочных изделий для здорового питания. *Хлебопродукты*, 3, 40–45. [Mitin, S. G., Cheboterev, S. N., Nikitin, I. A., Anichkina, O. A., Ivanova, N. G. et al. (2022). Current trends in the use of bread products in the Russian Federation and approaches to the development of bakery products for healthy nutrition. *Khleboproducty*, 3, 40–45. (In Russian)]
- Невская, Е. В., Тюрина, И. А., Тюрина, О. Е., Шулбаева, М. Т., Потапова, М. Н., Головачева, Я. С. (2019). Разработка хлебопекарных композитных смесей для здорового питания. *Техника и технология пищевых производств*, 49(4), 531–544. [Nevskaya, E. V., Tyurina, I. A., Turina, O. E., Shulbaeva, M. T., Potapova, M. N., Golovacheva, Ya. S. (2019). Healthy bakery composite mixes. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(4), 531–544. (In Russian)]. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-4-531-544>
- Рензязева, Т. В., Тубольцева, А. С., Рензязев, А. О. (2022). Мука различных видов в технологии мучных кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 52(2), 407–416. [Renzuyaeva, T. V., Tuboltseva, A. S., Renzuyaev, A. O. (2022). Various flours in pastry production technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 52(2), 407–416. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-2-2373>
- Козьмина, Н. П. (1976). Биохимия зерна и продуктов его переработки. — М.: КОЛОС, 1976. [Kozmina, N. P. (1976). Biochemistry of grain and its processed products. Moscow: KOLOS, 1976.]
- Hoseney, R. C. (1986). Principles of Cereal Science and Technology. — St. Paul, Minnesota, USA: American Association of Cereal Chemists, Inc., 1986.
- Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Nagainikova, J. R. (2020). Technological schemes for the processes of preparation and milling binary grain mixtures and biochemical evaluation of produced products. *Food Systems*, 3(5), 14–19. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-3-3-14-19>
- Pankratov, G. N., Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Nagainikova, Yu. R., Kechkin, I. A. (February 26–29, 2020). Development of technological schemes for the processes of preparation and milling of two-component grain mixtures. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials, Voronezh, Russian Federation, 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022049>
- Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Nagainikova, Yu. R., Kolomiets, S. N. (2020). Wheat-linen flour: Conditions for producing and biochemical features. *Russian Agricultural Sciences*, 46(4), 404–409. <http://doi.org/10.3103/S1068367420040138>
- Vitol, I. S., Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P. (February 26–29, 2020). Biochemical characteristics of new varieties of flour from a binary mixture of wheat and flax. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, International Conference on Production and Processing of Agricultural Raw Materials, Voronezh, Russian Federation, 2020. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/640/2/022050>
- Панкратов, Г. Н., Мелешкина, Е. П., Витол, И. С., Коломиец, С. Н., Кечкин, И. А. (2021). Пшенично-льняная мука: условия получения и возможность хранения. *Пищевая промышленность*, 2, 55–59. [Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kolomiets, S. N., Kechkin, I. A. (2021). Wheat-flaxseed flour: The conditions for obtaining and storage capability. *Food Industry*, 2, 55–59. (In Russian)] <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-2-0019>
- Витол, И. С., Мелешкина, Е. П., Панкратов, Г. Н., Кечкин, И. А. (2022). Новые подходы к трансформации зернового сырья для получения композитной муки. *Известия ВУЗов. Пищевая технология*, 5(389), 6–9. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N., Kechkin, I. A. (2022). New approaches to the transformation of grain raw materials for the production of composite flour. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 5(389), 6–9. (In Russian)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.5.1>
- Панкратов, Г. Н., Кечкин, И. А., Витол, И. С., Коломиец, С. Н. (2022). Получение пшенично-льняной муки из продуктов переработки зерна. *Пищевая промышленность*, 6, 47–50. [Pankratov, G. N., Kechkin, I. A., Vitol, I. S., Kolomiets, S. N. (2022). Obtaining wheat-flax flour from grain processing products. *Food Industry*, 6, 47–50. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.6.6.011>
- Панкратов, Г. Н., Мелешкина, Е. П., Витол, И. С., Кечкин, И. А., Коломиец, С. Н. (2022). Технологические показатели новых сортов трехкомпонентной муки. *Пищевая промышленность*, 5, 16–19. [Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Kolomiets, S. N. (2022). Technological indicators of various grades of three-component flour. *Food Industry*, 5, 16–19. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.004>
- Витол, И. С., Мелешкина, Е. П., Панкратов, Г. Н. (2022). Биохимические особенности новых сортов трехкомпонентной муки. *Пищевая промышленность*, 6, 8–11. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N. (2022). Biochemical features of new varieties of three-component flour. *Food Industry*, 6, 8–11. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.6.6.001>
- Самчук, Т. В., Осипчук, И. Р., Кечкин, И. А., Белявская, И. Г. (2022). Совершенствование технологии хлебобулочных изделий путем применения пшенично-ореховой муки на основе кедрового ореха. *Хлебопродукты*, 8, 32–35. [Samchuk, T. V., Osipchuk, I. R., Kechkin, I. A., Belyavskaya, I. G. (2022). Improving the technology of bakery products by using wheat-nut flour based on pine nuts. *Khleboproducty*, 8, 32–35. (In Russian)] <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2022-31-8-32-35>
- Коломиец, С. Н., Мелешкина, Е. П., Бундина, О. И., Герасина, А. Ю., Жильцова, Н. С., Кириллова, Е. В. (2023). Комплексная оценка качества двухкомпонентной муки, обогащенной ПНЖК. *Пищевая промышленность*, 10, 6–9. [Kolomiets, S. N., Meleshkina, E. P., Bundina, O. I., Gerasina, A. Yu., Zhiltsova, N. S., Kirillova, E. V. (2023). Comprehensive assessment of the quality of two-component flour enriched with PUFA. *Food Industry*, 10, 6–9. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2023.10.10.001>
- Панкратов, Г. Н., Мелешкина, Е. П., Витол, И. С., Кечкин, И. А., Коломиец, С. Н. (2022). Белково-жировой концентрат для обогащения пшеничной муки. *Пищевые системы*, 5(2), 107–113. [Pankratov, G. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Kechkin, I. A., Kolomiets, S. N. (2022). Protein-fat concentrate for enriching wheat flour. *Food Systems*, 5(2), 107–113. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-107-113>
- Зверев, С. В., Бондаренко, Ю. В., Глухова, Е. В. (2021). Использование смесей на базе зерна бобовых культур в хлебопекарной отрасли. *Хлебопродукты*, 10, 36–40. [Zverev, S. V., Bondarenko, Yu. V., Glukhova, E. V. (2021). The use of mixtures based on legume grains in the baking industry. *Khleboproducty*, 10, 36–40. (In Russian)] <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-10-36-40>
- Зверев, С. В., Зубцов, В. А., Лобанов, В. Г., Росляков, Ю. Ф., Глухова, Е. В. (2020). Льняной жмых в белковых пищевых добавках. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 5–6(377–378), 93–97. [Zverev, S. V., Zubtsov, V. A., Lobanov, V. G., Roslyakov, Yu. F., Glukhova, E. V. (2020). Flaxseed cake in protein food additives. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 5–6(377–378), 93–97. (In Russian)] <http://doi.org/110.26297/0579-3009.2020.5-6.22>
- Зверев, С. В., Политуха, О. В. (2022). Сбалансированный состав многокомпонентных круп в условиях концепции адекватного питания. *Пищевые системы*, 5(3), 185–194. [Zverev, S. V., Politukha, O. V. (2022). Balanced composition of multicomponent groats in conditions of the adequate nutrition concept. *Food Systems*, 5(3), 185–194. (In Russian)] <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-3-185-194>
- Коробейникова, М. М., Зверев, С. В., Политуха, О. В. (2023). Функциональные композитные крупы повышенной пищевой ценности. *Пищевая промышленность*, 3, 6–10. [Korobeynikova, M. M., Zverev, S. V., Politukha, O. V. (2023). Functional composite cereals of increased nutritional value. *Food Industry*, 3, 6–10. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2023.3.5.001>
- Zverev, S. V., Karpov, V. I., Nikitina, M. A. (2021). Оптимизация пищевых композиций по профилю идеального белка. *Пищевые системы*, 4(1), 4–11. [Zverev, S. V., Karpov, V. I., Nikitina, M. A. (2021). Optimization of food compositions according to the ideal protein profile. *Food Systems*, 4(1), 4–11. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-4-11>
- Zverev, S. V., Karpov, V. I., Klokonos, M. V., Sorokin, A. E., Masyagin, G. M. (17–18, June 2021). Optimization of food compositions according to the ideal protein profile in a personalized nutrition system. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, V International Workshop on Innovations in Agro and Food Technologies (WIAFT-V-2021), Volgograd, Russian Federation, 2020. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/848/1/012021>
- Зверев, С. В., Политуха, О. В., Панкратьева, И. А., Бобков, С. В., Донская, М. В. (2020). Обогащение нутром крупы из злаковых культур. *Хлебопродукты*, 2, 42–45. [Zverev, S. V., Politukha, O. V., Pankratieva, I. A., Bobkov, S. V., Donskaya, M. V. (2020). Enrichment of cereals with chickpeas. *Khleboproducty*, 2, 42–45. (In Russian)]
- Meleshkina, E. P., Bundina, O. I., Khuhria, A. S. (February 24–25, 2021). Sustainable grain complex development of Russia: Formation of grain clusters. E3S Web of Conferences. International Scientific and Practical Conference «Fundamental and Applied Research in Biology and Agriculture: Current Issues, Achievements and Innovations» (FARBA 2021), Orel, Russia, 2021. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/202125410012>
- Бундина, О. И., Коваль, А. И. (2022). Стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации: переработка и использование зерна. *Пищевая промышленность*, 5, 36–38. [Bundina, O. I., Koval, A. I. (2022). Development strategy of the grain complex of the Russian Federation: Processing and use of grain. *Food Industry*, 5, 36–38. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.011>
- Мелешкина, Е. П., Коломиец, С. Н., Жильцова, Н. С., Бундина, О. И. (2021). Современная оценка хлебопекарных свойств российской пшеницы. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 83(1), 155–162. [Meleshkina, E. P., Kolomiets, S. N., Zhiltsova, N. S., Bundina, O. I. (2021). Modern assessment of baking properties of Russian wheat. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 83(1), 155–162. (In Russian)] <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-155-162>
- Мелешкина, Е. П., Коломиец, С. Н., Бундина, О. И., Жильцова, Н. С. (2023). Современные требования к качеству ценной пшеницы в России. *Пищевая промышленность*, 6, 6–8. [Meleshkina, E. P., Kolomiets, S. N., Bundina, O. I., Zhiltsova, N. S. (2023). Modern requirements for the quality of valuable wheat in Russia. *Food Industry*, 6, 6–8. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.6.6.001>
- Мелешкина, Е. П., Коломиец, С. Н., Ческидова, А. С. (2020). Использование альвеографа при разработке требований к качеству муки для производства вафельного листа. *Хлебопродукты*, 12, 52–58. [Meleshkina, E. P., Kolomiets, S. N., Cheskidova, A. S. (2020). Using an alveograph in developing requirements for the quality of flour for the production of wafer sheets. *Khleboproducty*, 12, 52–58. (In Russian)] <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2020-29-12-52-58>
- Мелешкина, Е. П., Коломиец, С. Н., Коваль, А. И., Ческидова, А. С., Жильцова, Н. С. (2021). Взаимосвязь показателей реологических свойств теста с качеством крекера. *Пищевая промышленность*, 7, 59–63. [Meleshkina, E. P., Kolomiets, S. N., Koval, A. I., Cheskidova, A. S., Zhiltsova, N. S. (2021). Relationship of indicators of rheological properties of the dough with the quality of the cracker. *Food Industry*, 7, 59–63. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2021.7.0.18>

33. Мелешкина, Е. П., Коломиец, С. Н., Жильцова, Н. С., Бундина, О. И. (2021). Разработка требований целевого использования муки на примере мучных кулинарных изделий пельменей. *Пищевая промышленность*, 3, 19–22. [Meleshkina, E. P., Kolomiets, S. N., Zhiltsova, N. S., Bundina, O. I. (2021). Development of requirements for the targeted use of flour using the example of flour culinary products — dumplings. *Food Industry*, 3, 19–22. (In Russian)] <https://doi.org/10.24412/0235-2486-2021-3-0022>
34. Meleshkina, E. P., Kolomiets, S. N., Bundina, O. I., Cheskidova, A. S. (2021). Application of the alveograph device for the development of requirements for the quality of flour for the production of a wafer sheet. IOP Conference Series. Earth and Environmental Science. International Conference on Agricultural Science and Engineering, 845, Article 012135. <http://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012135>
35. Герасина, А. Ю., Коломиец, С. Н. (2024). Влияние количества поврежденного крахмала на технологические свойства пшеничной муки. *Пищевая промышленность*, 5, 14–16. [Gerasina, A. Yu., Kolomiets, S. N. (2024). The influence of the amount of damaged starch on the technological properties of wheat flour. *Food Industry*, 5, 14–16. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2024.5.5.003>
36. Мелешкина, Е. П., Коломиец, С. Н., Жильцова, Н. С. (2023). Количество поврежденного крахмала в муке лабораторного и производственного помолов. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 85(3), 67–73. [Meleshkina, E. P., Kolomiets, S. N., Zhiltsova, N. S. (2023). Amount of damaged starch in laboratory and production grinding flour. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 85(3), 67–73. (In Russian)] <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2023-3-67-73>
37. Петров, Г. П., Бундина, О. И., Парфенова, Е. Г., Рутковская, Т. С. (2023). Разработка экспресс-метода спектроскопии в ближней инфракрасной области для определения влажности, белка и количества клейковины. *Хлебопродукты*, 5, 30–33. [Petrov, G. P., Bundina O. I., Parfenova, E. G., Rutkovskaya, T. S. (2023). Development of express method of near-infrared spectroscopy to determine moisture, protein, gluten amount. *Khleboproducty*, 5, 30–33. (In Russian)] <https://doi.org/10.32462/0235-2508-2023-52-5-30-33>
38. Яицких, А. В., Степаненко, Д. С. (2022). Воздействия гамма-лучей и ускоренных электронов на поверхностную микробиоту зерна пшеницы. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 5(389), 46–49. [Yaitskikh, A. V., Stepanenko, D. S. (2022). Exposure of a surface wheat grain microbiota to gamma rays and accelerated electrons. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 5(389), 46–49. (In Russian)] <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2022.5.10>
39. Яицких, А. В., Степаненко, Д. С. (2022). Методы контроля фузариозных зерен. *Пищевая промышленность*, 12, 22–25. [Yaitskikh, A. V., Stepanenko, D. S. (2022). Methods for control of fusarium head blight grain. *Food Industry*, 12, 22–25. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.12.12.004>
40. Мелешкина, Е. П., Жильцова, Н. С., Коломиец, С. Н., Бундина, О. И. (2019). Сравнение российской оценки хлебопекарных свойств пшеницы и определение качества зерна с использованием миксолоба. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 81(3), 70–80. [Meleshkina, E. P., Zhiltsova, N. S., Kolomiets, S. N., Bundina, O. I. (2019). Comparison of Russian assessment of bakery properties of wheat and determination of grain quality using mixolab. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 81(3), 70–80. (In Russian)] <http://doi.org/10.20914/2310-1202-2019-3-70-80>
41. Приезжева, Л. Г., Сорочинский, В. Ф., Вережникова, И. А., Коваль, А. И. (2021). Изменение биохимических и физико-химических показателей продовольственного зерна пшеницы в процессе длительного лабораторного хранения. *Хлебопродукты*, 1, 40–43. [Priezzheva, L. G., Sorochinsky, V. F., Verezhnikova, I. A., Koval, A. I. (2021). Changes in biochemical and physicochemical parameters of wheat food grain during long-term laboratory storage. *Khleboproducty*, 1, 40–43. (In Russian)] <http://doi.org/10.32462/0235-2508-2021-30-1-40-43>
42. Яицких, А. В., Ванина, Л. В., Приезжева, Л. Г. (2021). Влияние микроорганизмов на изменение кислотного числа жира при длительном хранении зерна. *Пищевая промышленность*, 5, 13–15. [Yaitskikh, A. V., Vanina, L. V., Priezzheva, L. G. (2021). The effect of microorganisms on the change of fat acidity value during long-term storage of wheat grain. *Food Industry*, 5, 13–15. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2021.5.5.002>
43. Ванина, Л. В., Яицких, А. В., Волкова, О. В., Степаненко, Д. С. (2021). Нормы свежести и годности продовольственного зерна пшеницы. *Пищевая промышленность*, 12, 64–67. [Vanina, L. V., Yaitskikh, A. V., Volkova, O. V., Stepanenko, D. S. (2021). Standards of freshness and shelf life of food grain of wheat. *Food Industry*, 12, 64–67. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2021.12.12.0124>
44. Приезжева, Л. Г., Сорочинский, В. Ф., Вережникова, И. А., Коваль, А. И., Яицких, А. В. (2019). Изменение биохимических, физико-химических и микробиологических свойств пшеничной хлебопекарной муки в процессе созревания. *Хлебопродукты*, 10, 56–59. [Priezzheva, L. G., Sorochinsky, V. F., Verezhnikova, I. A., Koval, A. I., Yaitskikh, A. V. (2019). Changes in the biochemical, physicochemical and microbiological properties of wheat baking flour during the ripening process. *Khleboproducty*, 10, 56–59. (In Russian)] <http://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-28-10-56-59>
45. Приезжева, Л. Г., Сорочинский, В. Ф., Вережникова, И. А., Коломиец, С. К. (2019). Методика установления срока созревания пшеничной муки по значению кислотного числа жира. *Хлебопродукты*, 7, 49–51. [Priezzheva, L. G., Sorochinsky, V. F., Verezhnikova, I. A., Kolomiets, S. K. (2019). A method for determining the ripening period of wheat flour based on the acid number of fat. *Khleboproducty*, 7, 49–51. (In Russian)] <http://doi.org/10.32462/0235-2508-2019-29-7-49-51>
46. Gavrichenkov, Yu. D., Razvorotnev, A. S., Kechkin, I. A., Verezhnikova, I. A. (2019). Change of the acid number of wheat grain fat while stored in laboratory conditions. *Food Systems*, 2(2), 27–30. <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-27-30>
47. Яицких, А. В., Ванина, Л. В., Кириллова, Е. В. (2024). Изменения показателей качества пшеничной муки в процессе её созревания. *Пищевая промышленность*, 5, 60–62. [Yaitskikh, A. V., Vanina, L. V., Kirillova, E. V. (2024). Changes in quality indicators of wheat flour during its maturation. *Food Industry*, 5, 60–62. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2024.5.5.017>
48. Волкова, О. В., Ванина, Л. В. (2022). Кислотное число жира как индикатор свежести и годности манной крупы. *Пищевая промышленность*, 5, 53–54. [Volkova, O. V., Vanina, L. V. (2022). Acid number of fat as an indicator of freshness and shelf life of semolina. *Food Industry*, 5, 53–54. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.019>
49. Ванина, Л. В., Яицких, А. В. (2023). Взаимосвязь КЧЖ с органолептическими свойствами крупы манной и каши, приготовленной из неё. *Пищевая промышленность*, 6, 9–11. [Vanina, L. V., Yaitskikh, A. V. (2023). Relationship of FAV with organoleptic indicators of grain and porridge prepared from it. *Food Industry*, 6, 9–11. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2023.6.6.002>
50. Ванина, Л. В., Яицких, А. В., Волкова, О. В., Вережникова, И. А. (2023). Установление норм свежести и годности крупы манной по КЧЖ. *Пищевая промышленность*, 4, 75–77. [Vanina, L. V., Yaitskikh, A. V., Volkova, O. V., Verezhnikova, I. A. (2023). Establishment of norms for freshness and suitability of semolina according to FAV. *Food Industry*, 4, 75–77. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2023.4.4.013>
51. Степаненко, Д. С., Яицких, А. В. (2021). Эффективность метода определения мочевой кислоты в зерне с помощью ВЭЖХ. *Пищевые системы*, 4(3S), 286–291. [Stepanenko, D. S., Yaitskikh, A. V. (2021). Efficiency of the method for determination of uric acid in grain using HPLC. *Food Systems*, 4(3S), 286–291. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2020-4-3S-286-291>
52. Яицких, А. В., Закладной, Г. А., Степаненко, Д. С. (2023). Определение мочевой кислоты в зернопродуктах с помощью ВЭЖХ. *Пищевая промышленность*, 6, 24–26. [Yaitskikh, A. V., Zakladnoy, G. A., Stepanenko, D. S. (2023). Determination of uric acid in grain products by HPLC. *Food Industry*, 6, 24–26. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2023.6.6.007>
53. Zakladnoy, G. A., Yaitskikh, A. V. (2020). Dependence of uric acid content in stored grain on the population density of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera, Dryophoridae). *Entomological Review*, 100(2), 170–172. <http://doi.org/10.1134/S0013873820020049>
54. Закладной, Г. А., Яицких, А. В., Степаненко, Д. С. (2022). Формирование в зерне мочевой кислоты, продуцируемой зерновым точилицом *Rhizopertha dominica* (f). *Пищевые системы*, 5(2), 139–144. [Zakladnoy, G. A., Yaitskikh, A. V., Stepanenko, D. S. (2022). Formation of uric acid in grain produced by *Rhizopertha dominica* (f). *Food Systems*, 5(2), 139–144. (In Russian)] <http://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-139-144>
55. Яицких, А. В., Закладной, Г. А., Степаненко, Д. С. (2024). Особенности формирования малым мучным хрущом *Tribolium confusum* Duv. (Tenebrionidae) мочевой кислоты в хранящемся зерне. *Пищевая промышленность*, 3, 26–28. [Yaitskikh, A. V., Zakladnoy, G. A., Stepanenko, D. S. (2024). Features of formation of uric acid by *Tribolium confusum* Duv. (Tenebrionidae) in stored grain. *Food Industry*, 3, 26–28. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2024.3.3.005>
56. Степаненко, Д. С., Закладной, Г. А., Яицких, А. В. (2024). Накопление суринамским мучеюдом *Oryzaephilus surinamensis* (L.) мочевой кислоты в хранящемся зерне. *Пищевая промышленность*, 5, 8–10. [Stepanenko, D. S., Zakladnoy, G. A., Yaitskikh, A. V. (2024). Accumulation of uric acid in stored grain by the *Oryzaephilus surinamensis* (L.). *Food Industry*, 5, 8–10. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2024.5.5.001>
57. Закладной, Г. А., Яицких, А. В., Степаненко, Д. С. (2023). Распределение мочевой кислоты в продуктах помола зерна, пораженного рисовым долгоносиком. *Пищевая промышленность*, 3, 79–81. [Zakladnoy, G. A., Yaitskikh, A. V., Stepanenko, D. S. (2023). Distribution of uric acid in the grinding products of grain affected by rice weevil. *Food Industry*, 3, 79–81. (In Russian)] <http://doi.org/10.52653/PPI.2023.3.3.016>
58. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П., Панкратов, Г. Н. (2022). Отруби из композитной зерносмеси как объект глубокой переработки. Часть 1. Белково-протеиназный комплекс. *Пищевые системы*, 5(4), 282–288. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N. (2022). Bran from a composite grain mixture is an object of deep processing. Part 1. Protein-proteinase complex. *Food Systems*, 5(4), 282–288. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-4-282-288>
59. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П., Панкратов, Г. Н. (2023). Отруби из композитной зерносмеси как объект глубокой переработки. Часть 2. Углеводно-амилазный и липидный комплексы. *Пищевые системы*, 6(1), 22–28. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Pankratov, G. N. (2023). Bran from a composite grain mixture as an object of deep processing. Part 2. Carbohydrate-amylase and lipid complexes. *Food Systems*, 6(1), 22–28. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-1-22-28>
60. Poutanen, K. S., Kärklund, A. O., Gómez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N. M., Marklinder, I. M. et al. (2022). Grains — a major source of sustainable protein for health. *Nutrition Reviews*, 80(6), 1648–1663. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab084>
61. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П. (2023). Поликомпонентные отруби — ценный вторичный продукт. *Хлебопродукты*, 11, 58–63. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P. (2023). Polycomponent bran is a valuable secondary product. *Khleboproducty*, 11, 58–63. (In Russian)] <http://doi.org/10.32462/0235-2508-2023-32-11-58-63>
62. Никифорова, Т. А., Хон, И. А., Леонова, С. А., Вебер, А. Л., Краус, С. В. (2020). Рациональное использование побочных продуктов мукомольного и крупяного производства. *Хлебопродукты*, 11, 30–32. [Nikiforova, T. A., Khon, I. A., Leonova, S. A., Veber, A. L., Kraus, S. V. (2020). Rational use of by-products of flour and grain production. *Khleboproducty*, 11, 30–32. (In Russian)]
63. Krikunova, L. N., Meleshkina, E. P., Vitol, I. S., Dubinina, E. V., Obodeeva, O. N. (2023). Grain bran hydrolysates in the production of fruit distillates. *Foods and Raw Materials*, 11(1), 35–42. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2023-1-550>
64. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П., Криюнова, Л. Н. (2023). Композиции ферментных препаратов для направленной модификации отрубей. *Пищевые системы*, 6(4), 457–462. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P., Krikunova, L. N. (2023). Compositions of enzyme preparations for targeted modification of bran. *Food Systems*, 6(4), 457–462. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2023-6-4-457-462>
65. Bilal, M., Iqbal, H.M.N. (2020). State-of-the-art strategies and applied perspectives of enzyme biocatalysis in the food sector — current status and

- future trends. *Critical Reviews Food Science and Nutrition*, 60(12), 2052–2066. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1627284>
66. Болтовский, В. С. (2021). Ферментативный гидролиз растительного сырья: состояние и перспективы. *Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук*, 57(4), 502–512. [Boltovsky, V. S. Enzymatic hydrolysis of plant raw materials: State and prospects. *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Chemical Series*, 57(4), 502–512 (In Russian)] <https://doi.org/10.29235/1561-8331-2021-57-4-502-512>
 67. Vitol, I. S., Igoryanova, N. A., Meleshkina, E. P. (2019). Bioconversion of secondary products of processing of grain cereals crops. *Food Systems*, 2(4), 18–24. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-4-18-24>
 68. Толкачева, А. А., Черенков, Д. А., Корнеева, О. С., Пономарев, П. Г. (2017) Ферменты промышленного назначения — обзор рынка ферментных препаратов и перспективы его развития. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 79(4), 197–203. [Tolkacheva, A. A., Cherenkov, D. A., Korneeva, O. S., Ponomarev, P. G. (2017). Enzymes of industrial purpose — review of the market of enzyme preparations and prospects for its development. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 79(4), 197–203. (In Russian)]. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2017-4-197-203>
 69. Серб, Е. М., Римарева, Л. В., Оверченко, М. Б., Игнатова, Н. И., Погорельская, Н. С. (2022). Роль биокатализа в технологиях переработки зернового сырья. *Пищевая промышленность*, 5, 13–15. [Serba, E. M., Rimareva, L. V., Overchenko, M. V., Ignatova, N. I., Pogorzhe'skaya, N. S. (2022). The role of biocatalysis in grain processing technologies. *Food Industry*, 5, 13–15. (In Russian)]. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.003>
 70. Костылева, Е.В., Серед, А.С., Великоречкая, И.А., Курбатова, Е.И., Пурикова, Н.В. (2023). Использование протеолитических ферментов для получения белковых гидролизатов пищевого назначения из вторичного сырья. *Вопросы питания*, 92(1), 116–132. [Kostyleva, E.V., Sereda, A.S., Velikoretskaya, I.A., Kurbatova, E.I., Tsurikova, N.V. (2023). Proteases for obtaining of food protein hydrolysates from proteinaceous by-products. *Problems of Nutrition*, 92(1), 116–132 (In Russian)] <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2023-92-1-116-132>
 71. Зорин, С. Н. (2019). Ферментативные гидролизаты пищевых белков для специализированных пищевых продуктов диетического (лечебного и профилактического) питания. *Вопросы питания*, 88(3), 23–31. [Zorin, S. N. (2019). Enzymatic hydrolysates of foods for therapeutic and prophylactic nutrition. *Problems of Nutrition*, 88(3), 23–31. (In Russian)] <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10026>
 72. Соколов, Д. В., Болхонов, Б. А., Жамсаранова, С. Д., Лебедева, С. Н., Баженова, Б. А. (2023). Ферментативный гидролиз соевого белка. *Техника и технология пищевых производств*, 53(1), 86–96. [Sokolov, D. V., Bolkhonov, B. A., Zhamsaranova, S. D., Lebedeva, S. N., Bazhenova, B. A. (2023). Enzymatic hydrolysis of soy protein. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(1), 86–96. (In Russian)]. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2418>
 73. Витол, И. С., Мелешкина, Е. П. (2021). Ферментативная трансформация пшенично-льняных отрубей. *Пищевая промышленность*, 9, 20–22. [Vitol, I. S., Meleshkina, E. P. (2021). Enzymatic transformation of wheat-flax bran. *Food Industry*, 9, 20–22. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.9.9.004>
 74. Витол, И. С. (2022). Структурно-модифицированные отруби — инновационный продукт глубокой переработки зерна. *Пищевая промышленность*, 5, 27–29. [Vitol, I. S. (2022). Structurally modified bran is an innovative product of deep grain processing. *Food Industry*, 5, 27–29. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.5.5.008>
 75. Витол, И. С. (2023). Эффективность ферментных препаратов при получении гидролизатов из отрубей. *Пищевая промышленность*, 6, 48–50. [Vitol, I. S. (2023). Efficiency of enzyme preparations in obtaining hydrolysates from bran. *Food Industry*, 6, 48–50. (In Russian)] <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.6.6.015>
 76. Рогачёв, В. А., Мерзлякова, О. Г., Лукьянчикова, Н. Л., Мадер, С. Н. (2022). Белково-витаминная мука из пшеничных отрубей, обогащенная фитазой в рационе перепелов. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*, 52(2), 46–54. [Rogachev, V. A., Merzlyakova, O. G., Lukiyanichikova, N. L., Mager, S. N. (2022). Protein-vitamin flour from wheat bran enriched with phytase in the diet of quails. *Siberian Bulletin of Agricultural Science*, 52(2), 46–54. (In Russian)]
 77. Рогачёв, В. А., Мерзлякова, О. Г., Чегодаев, В. Г., Лукьянчикова, Н. Л. (2021). Фракционированная белково-витаминная мука из пшеничных отрубей в рационах несушек перепелов. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*, 11, 40–49. [Rogachev, V. A., Merzlyakova, O. G., Chego daev, V. G., Lukiyanichikova, N. L. (2021). Fractionated protein and vitamin meal from wheat bran in the diets of laying quails. *Feeding of Farm Animals and Feed Production*, 11, 40–49. (In Russian)] <https://doi.org/10.33920/sel-05-2111-05>
 78. Лукьянчикова, Н. Л., Скрябин, В. А., Табанюхов, К. А. (2020). Особенности состава отрубей пшеницы и ржи и их роль в профилактике хронических заболеваний человека (обзор). *Инновации и продовольственная безопасность*, 4, 41–58. [Lukiyanichikova, N. L., Skryabin, V. A., Tabanyukhov, K. A. (2020). Peculiarities of the composition of wheat and rye bran and their role in the prevention of chronic diseases of human review. *Innovations and Food Security*, 4, 41–58. (In Russian)] <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2020-30-4-41-58>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Мелешкина Елена Павловна — доктор технических наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-499-976-23-25 E-mail: e.meleshkina@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1339-7150	Elena P. Meleshkina , Doctor of Technical Sciences, Director, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-499-976-23-25 E-mail: e.meleshkina@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1339-7150
Ванина Людмила Витальевна — кандидат химических наук, заместитель директора по научной работе, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-916-498-59-27 E-mail: l.vanina@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9498-4885	Lyudmila V. Vanina — Candidate of Chemical Sciences, Deputy Director for Research, All-Russian Research Institute of Grain and Its Processed Products 11, Dmitrovskoye highway, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-916-498-59-27 E-mail: l.vanina@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9498-4885
Витол Ирина Сергеевна — кандидат биологических наук, доцент, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт зерна и продуктов его переработки 127434, Москва, Дмитровское шоссе, 11 Тел.: +7-926-709-02-07 E-mail: i.vitol@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5362-8909 * автор для контактов	Irina S. Vitol — Candidate of Biological Sciences, Docent, Senior Researcher, All-Russian Scientific and Research Institute for Grain and Products of its Processing 11, Dmitrovskoye Shosse, Moscow, 127434, Russia Tel.: +7-926-709-02-07 E-mail: i.vitol@fnpcs.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5362-8909 * corresponding author
Критерии авторства	Contribution
Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.	The author has the sole responsibility for writing the manuscript and is responsible for plagiarism.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.