

На правах рукописи



Плешков Владимир Александрович

**ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ
БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА
МОЛОЧНОГО СЫРЬЯ И ПРОДУКТОВ НА ЕГО ОСНОВЕ**

Специальности: 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и
биологически активных веществ
4.3.3. Пищевые системы

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Кемерово 2026

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кемеровский государственный университет» (ФГБОУ ВО КемГУ)

Научные консультанты:

доктор биологических наук, профессор,
академик РАН

Просеков Александр Юрьевич

доктор технических наук, профессор

Козлова Оксана Васильевна

Официальные оппоненты:

Сложенкина Марина Ивановна

доктор биологических наук, член-корреспондент РАН, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Поволжский научно-исследовательский институт производства и переработки мясомолочной продукции», директор

Жамсаранова Сэсэгма Дашиевна

доктор биологических наук, профессор, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», ведущий научный сотрудник Биотехнологического центра, профессор кафедры биотехнологии

Гришкова Анастасия Викторовна

доктор биологических наук, доцент, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Алтайский государственный медицинский университет», кафедра биологии, гистологии, эмбриологии и цитологии, доцент

Ведущая организация:

Федеральное государственное автономное научное учреждение «Всероссийский научноисследовательский институт молочной промышленности» (ФГАНУ «ВНИМИ»), г. Москва

Защита диссертации состоится «23» сентября 2026 года в 10:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.315.05 при ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» по адресу: 650000, г. Кемерово, б-р Строителей, 47, 2 лекц. ауд.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке и на официальном сайте ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» (<https://kemsu.ru/science/dissertationcouncils/diss-24-2-315-05/protects/137447/>), на официальном сайте ВАК Минобрнауки РФ (<https://vak.gisnauka.ru>).

Отзывы на автореферат, заверенные печатью организации, отправлять по адресу: 650000, г. Кемерово, ул. Красная, 6, Диссертационный совет 24.2.315.05, e-mail: ds24.2.315.05@mail.ru.

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета, д.т.н.



Милентьева Ирина Сергеевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. В условиях реализации политики импортозамещения и ужесточения требований рынка к качеству и безопасности пищевой продукции стратегической задачей агропромышленного комплекса является организация ресурсосберегающего производства высококачественного сырья животного происхождения. Эффективность производства молочной продукции напрямую зависит от стабильности качественных характеристик сырья, его безопасности и технологической адекватности процессам переработки. В этой связи перспективное значение приобретают биотехнологические методы управления свойствами сырья на всех этапах его формирования, начиная с условий получения и заканчивая готовым продуктом.

Жесткие параметры, установленные Техническим регламентом Таможенного союза (ТР ТС 033/2013) «О безопасности молока и молочной продукции» и ГОСТами (массовая доля белка и жира, уровень содержания соматических клеток (ССК), микробиологическая чистота), имеют не только барьерное значение, но и определяют технологическую пригодность сырья. Так, увеличение массовой доли белка на 0,1 % повышает выход сыра на 1–1,5 %, а молоко с повышенным содержанием соматических клеток (>500 тыс./см³) снижает его на 10–15 %, ухудшая качество готовой продукции.

Современный уровень развития биотехнологии предполагает переход от пассивного контроля качества сырья к активному управлению его биосинтезом. Традиционные методы, базирующиеся на общепринятых регламентах, не позволяют в полной мере реализовать потенциал целенаправленного регулирования физиолого-биохимических процессов у лактирующих животных для получения молока с заданными технологическими свойствами. Это диктует необходимость разработки наукоемких биотехнологических решений, интегрирующих молекулярно-генетический контроль, оптимизацию нутриентного состава и превентивные меры, обеспечивающие стабильно высокое качество сырья.

В этой связи биотехнологии, базирующиеся на глубоком понимании молекулярно-генетических, физиологических и микробиологических механизмов, становятся основным фактором развития инноваций. Они предлагают инструментарий для целенаправленного управления качеством сырья на всех этапах, начиная от формирования наследственного потенциала до получения конечного продукта. К числу таких взаимосвязанных инструментов относятся молекулярно-генетические технологии для геномной оценки и целенаправленного воспроизводства животных с целевыми признаками, определяющими качество молока. Другую группу составляют нутритивные биотехнологии для управления обменом веществ, микробиомом и программирования состава продукции, а также биотехнологии управления здоровьем стада, направленные на предупреждающее поддержание благополучия животных и, как следствие, безопасности сырья.

Таким образом, разработка и внедрение комплексной биотехнологической системы, обеспечивающей управление качеством молочного сырья на всех этапах его формирования, от генотипа до готовой продукции, является актуальной научно-практической задачей, решение которой направлено на обеспечение перераба-

тывающей промышленности высококачественным, безопасным и экономически эффективным сырьем.

Степень разработанности темы исследования. В развитии научного направления по изучению и оптимизации биотехнологических процессов производства и переработки молочного сырья можно выделить четыре основных направления, каждое из которых связано с вкладом отечественных и зарубежных ученых: в формирование сырьевой базы – М.Ф. Иванов, П.Н. Кулешов, Е.А. Богданов, А.И. Овсянников, R. Rupp, M.E. Goddard; качество и безопасность сырья – И.Ф. Горлов, М.И. Сложенкина, P. Rainard, S.C. Nickerson; технологии переработки (сыроделие, маслоделие, кисломолочные продукты) – Н.В. Верещагин, А.А. Калантар, Р.Б. Давидов, З.Х. Диланян, Г.В. Твердохлеб, J.A. O'Brien, A.Y. Tamime; научные основы и инновации (биохимия, биотехнология) – Н.Н. Липатов, В.Д. Харитонов, Л.А. Остроумов, H.E. Swaisgood, B.H. Lee.

Однако, несмотря на накопленный фундаментальный и прикладной опыт, современные вызовы требуют системного подхода, интегрирующего генетические, нутритивные и ветеринарно–профилактические биотехнологии в единую систему управления качеством сырья от генотипа до технологических свойств готовой продукции. Настоящая диссертационная работа выполнена в контексте развития указанных научных школ и направлена на создание целостной биотехнологической системы управления качеством молочного сырья.

Цель и задачи исследований. Целью работы является научное обоснование и практическая реализация фундаментальных принципов системы управления безопасностью и технологически значимыми биологическими свойствами молочного сырья, направленной на раскрытие его биотехнологического потенциала для повышения качества продуктов.

Для достижения поставленной цели решали следующие задачи:

- определить влияние параметров молока–сырья, сформированных на этапе первичного производства, на технологическую эффективность и основные показатели готовой продукции;
- разработать научно обоснованную модель предиктивной оценки биологического потенциала и безопасности партий молока–сырья на основе его генетического профиля (аллельные варианты гена BoLA–DRB3(bovine lymphocyte antigen – главный комплекс гистосовместимости крупного рогатого скота, ген класса II);
- экспериментально подтвердить возможность направленного формирования биологического профиля молока–сырья через регулирование нутриентного обеспечения для получения продуктов с заданными свойствами;
- дать количественную оценку влияния комплекса превентивных мероприятий на показатели микробиологической безопасности, соматического загрязнения и биохимической сохранности молока–сырья;
- разработать и внедрить модель управления биологическими свойствами и безопасностью сырья в молочной промышленности, дать комплексную оценку ее технологической и экономической эффективности для перерабатывающих предприятий.

Научная концепция диссертационной работы состоит в обосновании и экспериментальном подтверждении подхода к реализации биотехнологических

методов в управлении качеством молочного сырья. Концепция базируется на системном понимании того, что параметры качества и безопасности конечной продукции закладываются на самых ранних этапах производственной цепи и могут быть целенаправленно сформированы через многоуровневую интеграцию биотехнологических инструментов.

1. Фундаментальный уровень (генетический потенциал). Устойчивое улучшение качества сырья невозможно без целенаправленного формирования генетической основы. Это достигается через селекцию на основе молекулярных маркеров (на примере полиморфизма гена BoLA-DRB3) и выделение групп животных с высоким технологическим потенциалом (генотипы R/R).

2. Реализующий уровень (раскрытие потенциала через физиологию и метаболизм). Даже оптимальный генотип не гарантирует выдающегося качества сырья без точной настройки физиологического состояния животного. Это обеспечивается через нутритивную биоинженерию и биотехнологическую профилактику нарушений, ведущих к ухудшению качества сырья (рост соматических клеток, изменение состава, бактериальная контаминация). Поэтому разрабатываемые схемы профилактики являются неотъемлемым звеном в цепочке управления качеством, обеспечивая стабильность сырьевой базы даже в условиях повышенных рисков.

3. Системно-экономический уровень (ресурсосберегающая эффективность). Эффективность биотехнологий проявляется в их способности снижать удельные затраты на единицу качественного сырья. Это достигается через снижение потерь (увеличение продуктивного долголетия за счет улучшения здоровья), повышение выхода готовой продукции (за счет оптимизации состава молока) и получение сырья с гарантированно высокими технологическими свойствами, что позволяет перерабатывающим предприятиям выходить на более рентабельные рынки.

Научная новизна работы. Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке и экспериментальном обосновании целостной биотехнологической концепции управления качеством и безопасностью молочного сырья, базирующейся на многоуровневой интеграции молекулярно-генетических, нутриентных и превентивных факторов в сквозную систему «генотип → физиологический статус → параметры сырья → экономический результат». В отличие от существующих фрагментарных подходов, впервые предложена и реализована концепция, рассматривающая формирование технологических свойств сырья как управляемый процесс на всех этапах производственной цепи – от наследственного потенциала до готовой продукции.

Впервые для популяции черно-пестрого скота Западной Сибири проведено масштабное исследование полиморфизма гена BoLA-DRB3 с идентификацией 55 аллельных вариантов и установлением их ранее неизвестных ассоциаций с комплексом технологически значимых свойств молока. Выявлено, что гомозиготность по защитным аллелям (класс R/R) статистически значимо ($p \leq 0,001$) ассоциирована с повышенным содержанием массовой доли белка (до 3,24%) и жира (до 3,56%), максимальной термоустойчивостью (18,0 мин) и минимальным уровнем содержания соматических клеток (363 тыс./мл, что на 237 тыс./мл ниже, чем у гомозигот по аллелям риска). Это позволило впервые разработать генетически де-

терминированные критерии идентификации сырья с высоким биотехнологическим потенциалом.

Впервые разработана и валидирована модель прогнозной оценки биотехнологической пригодности молочного сырья на основе генотипа. Модель использует ROC-анализ (рабочая характеристическая кривая; площадь под кривой AUC = 0,808) и включает классификацию аллелей, интегральный индекс качества молока (MQI) и индекс риска. Это позволяет прогнозировать технологические риски и планировать управляющие воздействия уже на этапе формирования стада.

Впервые экспериментально обоснована и количественно подтверждена эффективность комплексного применения липидных, белковых, витаминных, пробиотических и ферментных добавок, обеспечивающего синергетический эффект, выражающийся в статистически значимом ($p \leq 0,05$) увеличении объемов производства молока (на 10,5%), содержании массовой доли жира (на 7,3%), массовой доли белка (на 7,9%) и повышении индекса сыропригодности до 154% относительно контроля. При этом доказано статистически значимое ($p \leq 0,01$) снижение уровня содержания соматических клеток на 42,1%. Установлены ранее не описанные корреляционные зависимости между составом нутриентных комплексов и динамикой технологических показателей ($r=0,72-0,89$, $p \leq 0,05$), что позволило разработать научно обоснованные рецептуры кормовых добавок для направленного формирования сыропригодных свойств молока.

Впервые установлена прямая количественная связь между индексом сыропригодности и выходом готовой продукции (коэффициент детерминации $R^2 = 0,95$), что позволяет целенаправленно формировать потребительские свойства творога и сыра через оптимизацию параметров сырья.

Впервые дана комплексная количественная оценка влияния оригинального набора превентивных мероприятий, включающего пробиотическую добавку и патентованные схемы санитарно-гигиенической профилактики, на показатели микробиологической безопасности и биохимической сохранности молока. Доказано, что применение разработанного комплекса обеспечивает статистически значимое снижение уровня содержания соматических клеток на 25% (с 400 ± 15 до 300 ± 10 тыс./мл, $p \leq 0,001$); общей бактериальной обсемененности (ОБО) на 47,5%, с $4,63 \pm 0,10$ до $4,35 \pm 0,08$ lg КОЕ/см³ ($p \leq 0,01$); содержания свободных жирных кислот на 27% свидетельствует о замедлении процессов липолиза ($p \leq 0,05$) и перекисного числа на 28,6%, что указывает на снижение интенсивности окислительной порчи ($p \leq 0,05$).

Впервые разработан прототип цифровой платформы на базе R Shiny для оперативного использования созданных моделей (генотипирования, прогнозирования качества, расчета нутриентных рецептур) в практике пищевой биотехнологии, что обеспечивает интеграцию научных результатов в производственные процессы.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость заключается в расширении представлений о роли гена BoLA-DRB3 в формировании технологических свойств молока, установлении новых корреляционных связей между условиями получения сырья, нутриентным обеспечением, превентивными мероприятиями и качеством молока, а также в разработке мето-

дологических подходов к созданию интегрированных биотехнологических систем управления качеством в молочной промышленности.

Практическая значимость работы подтверждается разработкой и внедрением конкретных биотехнологических решений, а именно:

- методика генотипирования по гену BoLA-DRB3 и выделения групп сырья с высоким технологическим потенциалом;
- схемы применения кормовых добавок для направленного изменения состава молока;
- комплекс превентивных мероприятий и патентованные схемы санитарно-гигиенической профилактики;
- интегрированная модель управления качеством молочного сырья, апробированная в условиях производственных предприятий молочной промышленности региона.

Впервые на основе интеграции полученных результатов разработана и внедрена в производственных условиях целостная биотехнологическая система управления качеством молочного сырья, охватывающая все этапы его формирования и обеспечивающая увеличение выхода готовой продукции на 5,9% со сроком окупаемости 10 месяцев, что представляет собой новый научно-прикладной результат, имеющий существенное значение для развития молочной промышленности.

Техническая значимость разработанных решений подтверждена 17 патентами Российской Федерации.

Результаты внедрены в учебный процесс ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет» при подготовке бакалавров и магистров по направлениям 19.03.01, 19.04.01 Биотехнология, 19.03.03, 19.04.03 Продукты питания животного происхождения и специальности 36.05.01 Ветеринария, а также при организации научно-исследовательской и практической работы аспирантов.

Проведена промышленная апробация и внедрение в производство результатов диссертационного исследования в соответствии с разработанной системой в ООО «Деревенский молочный завод» (Кемеровская область, пгт Промышленная), ООО «Сосновское» (Кемеровская область, Новокузнецкий район, с. Сосновка), ООО «СХК Сидоровское» (Кемеровская область, м.о. Новокузнецкий, с. Сидорово), ИП КФХ «Усубов Х.С.» (Кемеровская область, Беловский район).

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследования составляют теоретические, экспериментальные и аналитические подходы. Для решения поставленных задач использовали общепринятые методы анализа и обобщения научной литературы, молекулярно-генетические (ПЦР-ПДРФ – полимеразная цепная реакция – полиморфизм длин рестрикционных фрагментов – анализ гена BoLA-DRB3 с последующей оценкой частот аллелей, наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности, индекса полиморфного информационного содержания (PIC) и неравновесного сцепления (LD)), физико-химические, а также авторские методы оценки показателей исследуемых объектов. Статистическую обработку данных выполняли с использованием корреляционного анализа (Пирсон, Спирмен), многофакторного дисперсионного анализа, логистической регрессии, анализа главных компонент (PCA), иерархической кластеризации и линейного

дискриминантного анализа в программной среде R. Достоверность различий оценивали с помощью t-критерия, U-критерия Манна–Уитни и точного теста Фишера с поправкой на множественные сравнения (Тьюки, Геймса–Хауэлл). Прогностическую способность моделей оценивали методом ROC-анализа (Receiver Operating Characteristic – рабочая характеристическая кривая) с определением площади под кривой AUC (Area Under the Curve). Для интегральной оценки биотехнологического потенциала сырья применяли авторский индекс качества молока MQI (Milk Quality Index).

Положения, выносимые на защиту

1. Определены и количественно оценены параметры молока–сырья, формируемые на этапе первичного производства и оказывающие статистически значимое влияние на технологическую эффективность переработки и показатели готовой продукции. Разработана шкала прогнозирования пригодности сырья с точностью 85 %, служащая основой для управляющих биотехнологических решений в молочной промышленности.

2. Разработана научно обоснованная модель предиктивной оценки биотехнологического потенциала молока–сырья, базирующаяся на идентификации аллельных вариантов гена BoLA–DRB3, которая позволяет с достоверностью прогнозировать показатели белкомолочности, жирномолочности и технологической пригодности молочного сырья.

3. Экспериментально обоснована и количественно подтверждена эффективность комплексного применения липидных, белковых, витаминных, пробиотических и ферментных добавок для направленного формирования биологического профиля молока–сырья.

4. Разработан и апробирован комплекс превентивных мероприятий, включающий пробиотические добавки и патентованные схемы санитарно–гигиенической профилактики, обеспечивающий статистически значимое улучшение показателей качества и безопасности молока–сырья.

5. Разработана и внедрена интегрированная система управления биотехнологическим потенциалом молочного сырья, объединяющая молекулярно–генетический контроль, оптимизацию нутриентного обеспечения и комплекс превентивных мероприятий.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается значительным объемом теоретических и многолетних экспериментальных исследований, репрезентативностью выборки, многократной повторностью экспериментов, использованием современных методов исследования и статистической обработки данных, а также согласованностью полученных результатов, которые взаимно дополняют друг друга. Основные положения работы прошли апробацию в ходе промышленных испытаний, были опубликованы в рецензируемых научных журналах, а также представлены на региональных, всероссийских и международных научно–практических конференциях, в том числе: Всероссийская научно–практическая конференция «Региональное развитие: экономика и социум» (г. Кемерово, 2026); Международная конференция «Пищевые здоровые сберегающие технологии» (г. Кемерово, 2022 г.); Национальная научно–практическая конференция с международным участием «Актуальные

научно–технические средства и сельскохозяйственные проблемы» (Кемерово, 2018 – 2023 гг.); Международная научно–практическая конференция «Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике» (Кемерово, 2018 – 2024 гг.); Международная научно–практическая конференция на иностранных языках «Современные технологии в сфере сельскохозяйственного производства и образования» (Кемерово, 2019 – 2022 гг.); Международный научный симпозиум, посвященный 150–летию академика Е.Ф. Лискуна «Достижения зоотехнической науки в решении актуальных задач животноводства и аквакультуры» (Москва, 2023 г.); XIX Международная научно–практическая конференция «Current Trends of Agricultural Industry in Global Economy» (2020 г., входит в базу Scopus); симпозиум в рамках Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Междисциплинарные подходы в биологии, медицине и науках о Земле» (Кемерово, 2024, 2025 гг.); конференция BIO Web of Conferences «Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021)» (2022 г., входит в базу Scopus).

Личный вклад соискателя. Вклад соискателя в работу состоит в разработке научной концепции исследований, постановке цели и задач исследования, организации и проведении научно–экспериментальных и аналитических работ, получении результатов исследований и их промышленной апробации. Доля участия соавторов в совместных публикациях и патентах заключалась в консультативной помощи, выполнении части лабораторных анализов по специализированным методикам, совместном обсуждении результатов, а также в организационной поддержке экспериментов в производственных условиях. Диссертационная работа представляет собой обобщение научных исследований, выполненных соискателем лично и при его определяющем участии.

Публикации. Основные результаты исследований изложены в 86 публикациях, в том числе: 1 статья в журнале, индексируемом в Scopus (Q1); 2 статьи в журналах, индексируемых в Scopus (Q3); 1 статья в журнале, индексируемом в Scopus (Q4); 33 статьи в журналах из перечня ВАК; 28 материалов конференций; 13 патентов на изобретение РФ; 4 свидетельства о регистрации баз данных; 2 учебных пособия; 2 монографии.

Соответствие темы паспортам научных специальностей. Диссертационные исследования соответствуют пунктам 5, 6, 7, 12, 16, 26, 27 паспорта специальности ВАК 4.3.5. Биотехнология продуктов питания и биологически активных веществ и пунктам 5, 9, 10, 11, 13, 16, 17, 29, 32, 35 паспорт специальности ВАК 4.3.3. Пищевые системы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из следующих основных разделов: введение, обзор литературы, объекты и методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, выводы, список использованных источников, включающий 489 источников (в том числе 216 на иностранных языках) и приложения. Основное содержание работы изложено на 349 страницах машинописного текста, содержит 63 таблицы, 24 рисунка, 3 приложения.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Исследования выполнялись в период с 2016 по 2025 год и включали шесть последовательных этапов, каждый из которых характеризовался специфическими объектами, методами и задачами (Рисунок 1).

Этап 1 (аналитический). Проведен сбор и анализ данных информационно-аналитической системы «СЕЛЭКС-Молочный скот. Племенной учет в хозяйствах» за 2019–2021 гг. Общее количество учтенных записей составило 217119 голов крупного рогатого скота Кемеровской области, в том числе 33094 головы (племенные предприятия) и 184025 голов (товарные хозяйства). Показатель отражает совокупный учет по годам, а не единовременное поголовье. Одно животное могло фигурировать в данных за несколько лет, что обусловлено динамикой стада (пополнение, выбытие, перевод между группами). Также проанализированы материалы производственного учета 12 сельскохозяйственных предприятий региона. Выполнен анализ современного состояния молочной отрасли, продолжительности хозяйственного использования коров, структуры причин выбытия и предварительная оценка влияния паратипических факторов на качество молока. На основе изучения отечественной и зарубежной литературы обоснованы актуальность, цель, задачи, научная новизна и практическая значимость работы, сформулирована научная концепция исследования.

Этап 2 (оценка влияния паратипических факторов). Проведен анализ влияния факторов первичного производства (тип содержания, стадия лактации, сезон года, кратность доения) на технологические свойства молока-сырья. Исследование выполнено на выборке из более чем 3000 проб молока, отобранных в рамках данного этапа в 12 хозяйствах Кемеровской области в течение 2017–2024 гг. Формирование выборки осуществлялось методом стратифицированной случайной выборки. Для каждой пробы определяли комплекс физико-химических, микробиологических и технологических показателей. С использованием корреляционного, регрессионного и дисперсионного анализа количественно оценен вклад каждого фактора в изменчивость показателей качества.

Этап 3 (генетический мониторинг). Выполнены молекулярно-генетические исследования гена BoLA-DRB3 на 187 полновозрастных коровах черно-пестрой породы в двух хозяйствах Кемеровской области. У каждого животного отбирали кровь для выделения ДНК и генотипирования методом ПЦР-ПДРФ, а также анализировали показатели молочной продуктивности и качества молока за 305 дней лактации. Для выявления ассоциаций между генотипами и технологическими свойствами молока применяли дисперсионный и корреляционный анализ с последующей статистической валидацией. На основе полученных данных разрабатывали модель предиктивной оценки биологического потенциала сырья по генетическому профилю.

Этап 4 (оценка влияния кормовых добавок). Проведен научно-хозяйственный эксперимент по изучению влияния различных типов кормовых добавок и их комплекса на продуктивность, состав и технологические свойства молока-сырья.

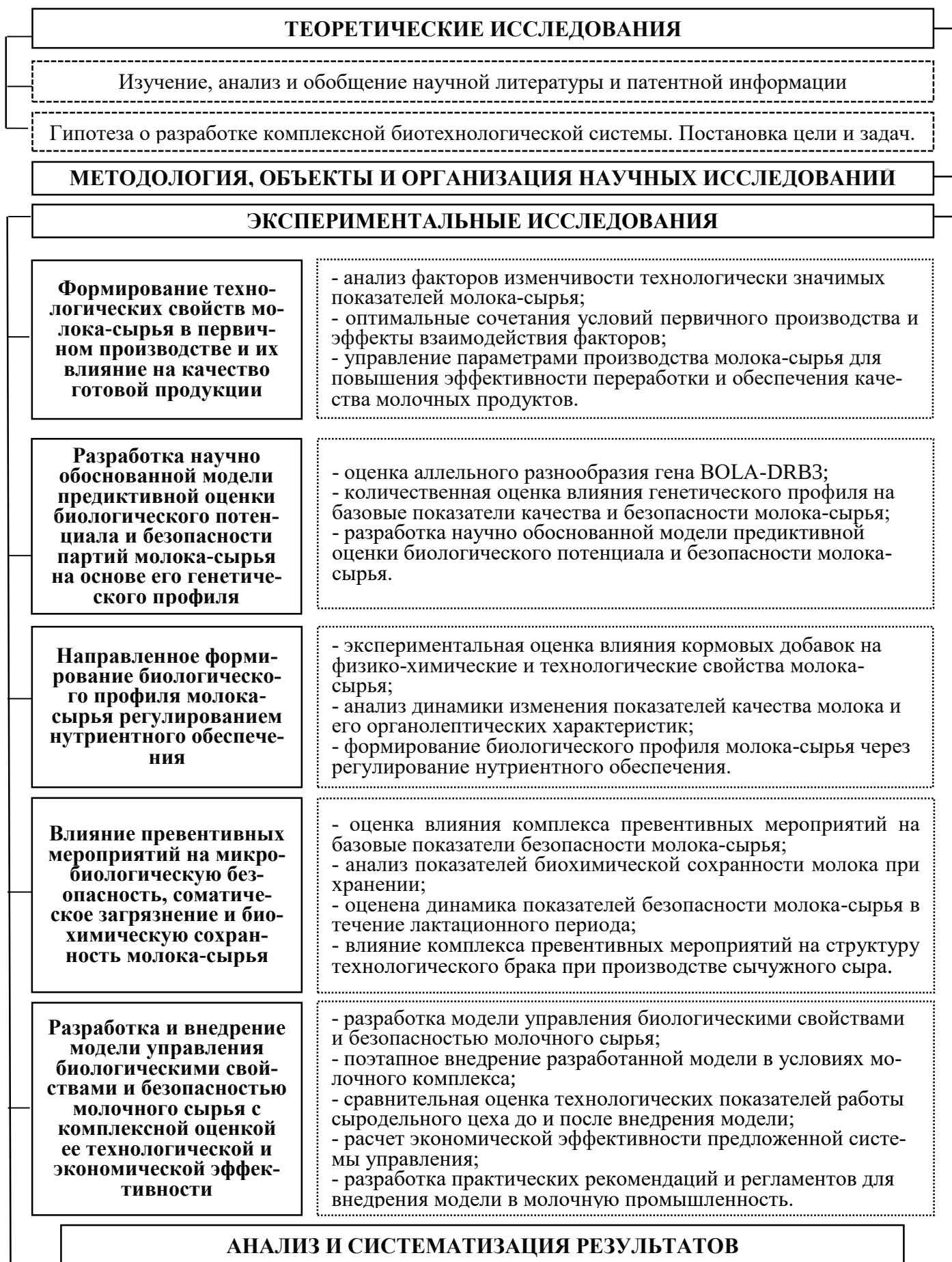


Рисунок 1 – Общая схема проведения исследований

Эксперимент по оценке отдельных добавок проведён на 150 коровах черно-пестрой породы, распределённых на 6 групп по 25 голов. Влияние комплексных схем кормления изучено в отдельном опыте на 100 коровах, разделённых на 4 группы (контрольная и три опытные) по 25 голов. Животные опытных групп получали липидные, белковые, витаминные, пробиотические, ферментные добавки или их комплекс согласно схеме. Продолжительность эксперимента составила 120 дней. В контрольные точки проводили индивидуальный отбор проб молока от каждого животного с последующим анализом физико-химических, микробиологических и технологических показателей. Для оценки трансформации свойств сырья в показатели готовой продукции выполнена лабораторная выработка творога из молока каждой группы по стандартной методике. Полученные данные обработаны методами дисперсионного и регрессионного анализа для выявления эффектов отдельных факторов и их синергетического взаимодействия.

Этап 5 (оценка комплекса превентивных мероприятий). Проведен производственный эксперимент по оценке эффективности разработанного комплекса превентивных мероприятий. Исследование выполнено на 240 коровах в четырех хозяйствах Кемеровской области (по 60 голов в каждом хозяйстве). Животные были разделены на контрольные и опытные группы по принципу аналогов с учетом возраста, продуктивности, стадии лактации и физиологического состояния. Опытная группа получала комплекс превентивных мероприятий согласно схеме. Контрольная группа находилась в условиях стандартной хозяйственной практики. В течение полной лактации (305 дней) проводили ежемесячный отбор проб молока с определением физико-химических, микробиологических и биохимических показателей, а также интегрального индекса сыропригодности. Дополнительно анализировали структуру технологического брака при производстве сычужного сыра из молока контрольной и опытной групп. Статистическую обработку выполняли с использованием t -критерия и дисперсионного анализа для сравнения групп.

Этап 6 (производственная апробация). Выполнена производственная апробация разработанной интегрированной модели управления биологическими свойствами и безопасностью молочного сырья в условиях племенного хозяйства ООО «Сосновский» (Кемеровская область) на поголовье 1200 коров в 2022–2024 гг. Модель объединяла три блока: генетический мониторинг, управление нутриентным обеспечением (применение оптимизированных рационов и кормовых добавок) и комплекс превентивных мероприятий. Внедрение осуществляли поэтапно в соответствии с разработанным алгоритмом. Для оценки технологической эффективности анализировали динамику показателей качества молока-сырья и выход готовой продукции в сыродельном цехе. Экономическую эффективность рассчитывали по общепринятой методике на основе данных бухгалтерского учета хозяйства.

Заключительный этап. Проведен анализ и систематизация всех полученных экспериментальных данных. Выполнено сопоставление результатов с целью и задачами исследования, сформулированы основные научные выводы и разработаны практические рекомендации для внедрения в молочной промышленности. Подготовлены и оформлены тексты диссертации и автореферата.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Глава 3 Анализ факторов, формирующих качество молочного сырья на этапе первичного производства, как предпосылка создания биотехнологической системы управления

Исследование выполнено на основе анализа данных информационно-аналитической системы «СЕЛЭКС-Молочный скот» и материалов производственного учета 12 сельскохозяйственных предприятий Кемеровской области за 2019–2021 гг. Целью являлось выявление системных проблем, определяющих нестабильность сырьевой базы и обоснование необходимости разработки биотехнологической системы управления качеством молока.

Анализ производственных показателей выявил разнонаправленные тенденции в племенном и товарном секторах (Таблицы 1, 2).

В племенных предприятиях (Таблица 1) на фоне роста среднегодового удоя на фуражную корову на 444 кг (+6,1%) зафиксировано снижение массовой доли жира на 0,09% (до 3,73%) и белка на 0,04% (до 3,17%).

Таблица 1 – Объемы и качество молочного сырья в племенных предприятиях

Показатель	2019г.	2020г.	2021г.
Поголовье, гол.	7522	5862	6492
Среднегодовой удой, кг	7312,3±584,3	7481,2±748,8	7756,0±595,1
Валовое производство молока, тыс. т	56,07	61,06	65,08
Массовая доля жира, %	3,82±0,08	3,78±0,11	3,73±0,09
Массовая доля белка, %	3,21±0,07	3,19±0,09	3,17±0,08

В товарных предприятиях (Таблица 2) падение качественных показателей выражено сильнее: снижение жира на 0,11% (до 3,44%), белка на 0,07% (до 2,96%). Достигнутый уровень белка находится на нижней границе требований к сырью для сыроделия, а уровень жира приближается к значениям, ниже которых снижается выход и качество масла.

Таблица 2 – Объемы и качество молочного сырья в товарных предприятиях

Показатель	2019г.	2020г.	2021г.
Поголовье, гол.	27245	26089	22715
Среднегодовой удой, кг	4723 ± 517	4907 ± 606	4871 ± 588
Валовое производство молока, тыс. т	128,7	128,0	110,7
Массовая доля жира, %	3,55±0,12	3,48±0,13	3,44±0,12
Массовая доля белка, %	3,03±0,09	2,98±0,11	2,96±0,10

Стабильность сырьевой базы напрямую зависит от продолжительности продуктивного использования животных. Фактический срок использования (Таблица 3) составляет 2,27–2,60 лактации при оптимальном уровне 4,5 лактации. Большинство животных не достигает стадии физиологической зрелости, когда компонентный состав молока стабилизируется и достигает значений, оптимальных для сыроделия и производства продуктов длительного хранения.

Таблица 3 – Продуктивное долголетие как фактор стабильности сырьевой базы

Показатель	Племенные предприятия	Товарные предприятия
Средний продуктивный период, лактаций	2,6 ± 0,2	2,27 ± 0,3
Средний возраст прекращения лактации, отелов	3,41	3,19
Справочно: оптимальный продуктивный период	4,5	4,5

Анализ структуры выбытия (Таблица 4) показал, что более 88% случаев преждевременного прекращения лактации связаны с физиологическими нарушениями, оказывающими прямое негативное влияние на биосинтез компонентов молока.

Таблица 4 – Биологические риски ухудшения технологических свойств сырья

Причина выбытия	Доля в племенных предприятиях, %	Доля в товарных предприятиях, %
Нарушения опорно-двигательного аппарата	33,3	29,1
Репродуктивные дисфункции	22,7	23,3
Метаболические нарушения	20,4	20,2
Воспаление молочной железы	11,7	11,9
Прочие причины	11,9	15,4
Всего	100	100

Наиболее распространены нарушения опорно-двигательного аппарата (29,1–33,3%), приводящие к хроническому метаболическому стрессу, метаболические нарушения (20,4–23,3%) и репродуктивные дисфункции (20,2–22,7%). Воспаление молочной железы (11,7–11,9%) является прямым фактором риска, вызывающим активацию протеолиза и липолиза, деградацию казеина, а также сопровождающимся ростом соматических клеток.

Установлена выраженная сезонность биологических рисков (Таблица 5): около 70% всех случаев выбытия приходится на зимне-стойловый период (245 дней). Данная закономерность стабильна во времени и идентична для обоих типов хозяйств. Пик выбытия коррелирует с ухудшением технологических свойств сырья в весенние месяцы.

Таблица 5 – Сезонность биологических рисков (среднее за 2019–2021 гг.)

Показатель	Племенные предприятия	Товарные предприятия
Доля выбытия за зимне-стойловый период (245 дней), %	69,8	69,7
Доля выбытия за летне-пастбищный период (120 дней), %	30,2	30,3

Нестабильность объемов и качества сырья, обусловленная рассмотренными выше биологическими рисками, приводит к значительным экономическим потерям. Количественная оценка потерь в расчете на одно животное представлена в Таблице 6. Для племенных предприятий фактическая продолжительность продуктивного периода меньше оптимального на 1,9 лактации, для товарных на 2,24 лактации. Учитывая среднегодовой удой, это дает потерю 14,28 и 10,83 тонн молока

на одну корову соответственно. Упущенная выгода достигает 228–324 тыс. руб. на одну голову.

Расчет упущенной экономической выгоды выполнен по формуле:

$$УВ = (НМ \times ЦМ) - ВМ, (1)$$

где:

УВ – упущенная выгода, руб.;

НМ – недополученное молоко, кг;

ЦМ – цена реализации молока, руб. / кг;

ВМ – выручка от реализации выбракованного животного на мясо, руб.

Таблица 6 – Экономические потери от нестабильности сырьевой базы

Показатель	Племенные предприятия	Товарные предприятия
Фактическая продолжительность ПП*, лактаций	2,60	2,26
Оптимальный ПП*, лактаций	4,50	4,50
Недополучено ПП*, лактаций	1,90	2,24
Недополучено молочного сырья, кг	14280,0	10828,0
Потенциальная выручка от молока (без затрат), руб.	428400,0	324840,0
Фактическая выручка от мяса, руб.	104220,0	97020,0
Упущенная экономическая выгода, руб.	324180,0	227820,0

Примечание: * ПП – продуктивный период

Сырьевая база характеризуется нестабильностью объемов и качества молока, низким продуктивным долголетием, высоким уровнем физиологических нарушений и выраженной сезонностью биологических рисков. Основные причины, напрямую ухудшают биосинтез целевых компонентов молока. Выявленные проблемы обосновывают необходимость разработки биотехнологической системы управления качеством, интегрирующей генетический мониторинг, оптимизацию нутриентного обеспечения и превентивные мероприятия для стабилизации технологических свойств сырья.

Глава 4 Определение влияния биотехнологически значимых факторов первичного производства на технологические свойства молочного сырья и качество пищевой продукции

На выборке более 3000 проб молока, проанализированных на данном этапе за 2017–2024 гг. методом многофакторного дисперсионного анализа, количественно оценен вклад биологических и технологических факторов в изменчивость показателей, определяющих биотехнологическую ценность молочного сырья.

Анализ данных Таблицы 7 выявил достоверную зависимость качества молока от стадии лактации. Наиболее благоприятный период середина лактации (101–200 дней). Массовая доля белка достигает 3,26 % (выше, чем в начале – 3,09 %, $p \leq 0,001$, и в конце – 3,17 %, $p \leq 0,01$). Массовая доля жира 3,63 % (выше начала 3,44 %, $p \leq 0,001$, и конца 3,54 %, $p \leq 0,05$). Казеиновое число 79,3 % (на 3,1 % выше начала, $p \leq 0,05$, и на 1,8 % выше конца); плотность 1031,5 кг/м³ ($p \leq 0,01$ относительно начала и конца); отмечаются минимальные уровни ССК (285 тыс./мл) и ОБО (68 тыс. КОЕ/см³). К концу лактации (более 200 дней) уровень ССК возрастает до 468 тыс./мл (на 64,2 % выше середины, $p \leq 0,05$), что критично

для производства сыров длительного созревания; повышается ОБО (162 тыс. КОЕ/см³, $p \leq 0,05$) и кислотность (17,1 °Т); снижается технологическая пригодность сырья из-за активации протеолиза и липолиза. В начале лактации (до 100 дней) ухудшение показателей обусловлено физиологическим стрессом после отела и отрицательным энергетическим балансом.

Таблица 7 – Влияние стадии лактации на показатели молока–сырья

Показатель	Начало (до 100 дн.) (n=730)	Середина (101–200 дн.) (n=1450)	Конец (более 200 дн.) (n=820)
Массовая доля белка, %	3,09 ± 0,03	3,26 ± 0,02 ^{Н***К**}	3,17 ± 0,03
Массовая доля жира, %	3,44 ± 0,04	3,63 ± 0,02 ^{Н***К*}	3,54 ± 0,03 ^{Н**}
Казеиновое число, %	76,1 ± 1,3	79,3 ± 0,9 ^{Н*}	77,5 ± 1,2
ССК, тыс./мл	395 ± 58	285 ± 35	468 ± 65 ^{С*}
ОБО, тыс. КОЕ/см ³	118 ± 28	68 ± 14	162 ± 38 ^{С*}
Кислотность, °Т	17,6 ± 0,4 ^{С*}	16,4 ± 0,3	17,1 ± 0,4
Плотность, кг/м ³	1029,5 ± 0,5	1031,5 ± 0,3 ^{Н***К**}	1029,8 ± 0,5
СОМО, %	8,38 ± 0,06	8,48 ± 0,04	8,40 ± 0,06

Примечание: разница достоверна при * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$, относительно групп Н – начало, С – середина, К – конец лактации.

Данные Таблицы 8 подтверждают статистически значимое влияние типа содержания на пищевую и технологическую ценность молока. При беспривязном боксовом содержании (n = 1750) по сравнению с привязным (n = 1250) зафиксированы лучшие показатели. Разница составила по массовой доле белка 3,22 % (+0,08 %, $p \leq 0,05$), массовой доли жира 3,59 % (+0,08 %, $p \leq 0,05$), плотности 1031,2 кг/м³ (+1,1 кг/м³, $p \leq 0,05$), казеинового числа 78,8 % и СОМО 8,46 %. Установлены более низкие показатели по ССК – 315 тыс./мл (на 110 тыс./мл, или 26 %, ниже); ОБО – 82 тыс. КОЕ/см³ (на 66 тыс. КОЕ/см³, или 44 %, ниже, $p \leq 0,05$); кислотности – 16,7 °Т (против 17,3 °Т при привязном). Снижение ССК и ОБО при беспривязном содержании повышает технологическую пригодность сырья и приближает его к требованиям для молока высшего сорта. Результаты согласуются с выводами главы 3: привязное содержание, несмотря на продление продуктивного периода, сопровождается повышенным уровнем стресса у животных, что ведет к ухудшению качества молока.

Таблица 8 – Влияние типа содержания на показатели молока–сырья

Показатель	Беспривязное, боксовое (n = 1750)	Привязное (n = 1250)
Массовая доля белка, %	3,22 ± 0,03*	3,14 ± 0,02
Массовая доля жира, %	3,59 ± 0,02*	3,51 ± 0,03
Казеиновое число, %	78,8 ± 1,0	77,0 ± 1,2
ССК, тыс./мл	315 ± 38	425 ± 52
ОБО, тыс. КОЕ/см ³	82 ± 18	148 ± 32
Кислотность, °Т	16,7 ± 0,3	17,3 ± 0,3
Плотность, кг/м ³	1031,2 ± 0,3*	1030,1 ± 0,4
СОМО, %	8,46 ± 0,04	8,39 ± 0,05

Примечание: разница достоверна при * $p \leq 0,05$

Сезон года является одним из ведущих абиотических факторов, определяющих вариабельность биотехнологического потенциала молока (Таблица 9). Наилучшие значения большинства изученных параметров зафиксированы в летний период, наихудшие – весной.

Различия между летними и весенними пробами достоверны: по массовой доле белка на 0,11 % ($p \leq 0,01$), жира на 0,12 % ($p \leq 0,01$), по уровню соматических клеток на 133 тыс./мл ($p \leq 0,05$), общей бактериальной обсемененности на 70 тыс. КОЕ/см³ ($p \leq 0,05$) и СОМО на 0,07 % ($p \leq 0,05$). Весеннее молоко по содержанию ССК приближается к границе второго сорта, что ограничивает его использование в сыроделии. Выявленная сезонная динамика обусловлена, прежде всего, изменением качества кормовой базы и физиологическим состоянием животных. К концу зимне-стойлового периода накопление метаболических нарушений приводит к росту заболеваемости маститом, что объясняет максимальные показатели ССК и ОБО весной.

Таблица 9 – Влияние сезона года на показатели молока–сырья

Показатель	Зима (n=800)	Весна (n=710)	Лето (n=760)	Осень (n=730)
Массовая доля белка, %	3,18 ± 0,02	3,13 ± 0,03	3,24 ± 0,02 ^{3* В**}	3,21 ± 0,02 ^{В**}
Массовая доля жира, %	3,54 ± 0,03	3,49 ± 0,03	3,61 ± 0,02 ^{3* В**}	3,58 ± 0,02 ^{В*}
Казеиновое число, %	77,8 ± 1,1	76,5 ± 1,3	79,0 ± 1,0	78,3 ± 1,0
ССК, тыс./мл	375 ± 48	428 ± 58	295 ± 38 ^{В*}	325 ± 42
ОБО, тыс. КОЕ/см ³	92 ± 22	142 ± 34	72 ± 16 ^{В*}	88 ± 20
Кислотность, °Т	17,0 ± 0,3	17,4 ± 0,4	16,6 ± 0,3	16,8 ± 0,3
Плотность, кг/м ³	1030,2 ± 0,4	1028,8 ± 0,5	1031,8 ± 0,3	1030,8 ± 0,4
СОМО, %	8,42 ± 0,05	8,35 ± 0,06	8,49 ± 0,04 ^{В*}	8,44 ± 0,05

Примечание: разница достоверна при * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; 3 – зима; В – весна; Л – лето; О – осень

Кратность доения оказывает менее выраженное влияние на санитарно-гигиенические характеристики сырья (Таблица 10). Наибольший вклад фактора кратности доения установлен для вариабельности бактериальной обсемененности (7,2 %) и уровня ССК (5,8 %). Доля вариации, объясняемая кратностью доения (2,4–7,2 %), значительно уступает вкладу физиологического состояния и сезона года, что указывает на второстепенную роль данного фактора в формировании технологических свойств сырья.

Таблица 10 – Влияние кратности доения на показатели молока–сырья

Показатель	Двукратное (n=1850)	Трехкратное (n=1150)
Массовая доля белка, %	3,18 ± 0,03	3,22 ± 0,02
Массовая доля жира, %	3,55 ± 0,02	3,59 ± 0,04
Казеиновое число, %	77,6 ± 1,1	78,5 ± 1,0
ССК, тыс./мл	372 ± 48	335 ± 44
ОБО, тыс. КОЕ/см ³	112 ± 28	88 ± 22
Кислотность, °Т	17,1 ± 0,3	16,8 ± 0,3
Плотность, кг/м ³	1030,2 ± 0,6	1031,0 ± 0,3
СОМО, %	8,40 ± 0,04	8,45 ± 0,04

Корреляционный анализ выявил статистически значимые связи удоя за лактацию с рядом показателей качества молока–сырья (Таблица 11).

Положительные корреляции средней силы зафиксированы с массовой долей белка ($r = +0,44$; $p \leq 0,001$), жира ($r = +0,39$; $p \leq 0,01$), плотностью ($r = +0,32$; $p \leq 0,05$) и СОМО ($r = +0,30$; $p \leq 0,05$). Отрицательные корреляции выявлены с количеством соматических клеток ($r = -0,31$; $p \leq 0,01$) и бактериальной обсемененностью ($r = -0,27$; $p \leq 0,05$). Согласно коэффициентам детерминации, уровень продуктивности объясняет 19 % вариации массовой доли белка и 15 % вариации массовой доли жира.

Таблица 11 – Корреляция удоя и качества молока–сырья

Показатель	Коэффициент корреляции (r)	Уровень значимости (p)
Массовая доля белка, %	+0,44	$p \leq 0,001$
Массовая доля жира, %	+0,39	$p \leq 0,01$
Казеиновое число, %	+0,36	$p \leq 0,05$
ССК, тыс./мл	-0,31	$p \leq 0,01$
ОБО, тыс. КОЕ/см ³	-0,27	$p \leq 0,05$
Плотность, кг/м ³	+0,32	$p \leq 0,05$
СОМО, %	+0,30	$p \leq 0,05$

Дисперсионный анализ (Таблица 12) позволил оценить вклад факторов в изменчивость показателей качества молока. Взаимодействие факторов «тип содержания $\times$ сезон» вносит наибольший вклад в изменчивость показателей санитарного качества: 10,1 % для общей бактериальной обсемененности (ОБО) и 8,2 % для уровня соматических клеток (ССК).

Таблица 12 – Вклад факторов в изменчивость показателей качества молока

Показатель	Взаимодействие «тип содержания $\times$ сезон», %	Общая дисперсия, %
Массовая доля белка, %	5,5	65,2
Массовая доля жира, %	4,3	53,8
Казеиновое число, %	3,8	44,2
ССК, тыс./мл	8,2	72,0
ОБО, тыс. КОЕ/см ³	10,1	81,5
Кислотность, °Т	3,0	30,8
Плотность, кг/м ³	6,0	53,1
СОМО, %	5,2	53,0

Многофакторная модель демонстрирует высокую прогностическую способность: общая объясненная дисперсия достигает 81,5 % для бактериальной обсемененности и 72,0 % для соматических клеток, что подтверждает адекватность модели и корректность выбора ключевых факторов. Для титруемой кислотности объясненная дисперсия существенно ниже (30,8 %), что обусловлено высокой буферной емкостью молока и влиянием неучтенных факторов. Корреляционный анализ выявил тесные положительные связи между удоем и массовой долей жира, удоем и белком, а также между массовой долей жира и белка ($r = 0,69-0,74$; $p \leq 0,001$). Уровень соматических клеток отрицательно

коррелирует с удоем и жиром ($r = -0,58...-0,59$; $p \leq 0,001$), что согласуется с данными о накоплении метаболических нарушений к концу зимне-стойлового периода.

Для оценки влияния качества исходного сырья на эффективность переработки проведена экспериментальная выработка мягкого сычужного сыра без созревания (типа «Любительский») из молока, соответствующего трем контрастным сценариям, сформированным на основе данных Главы 3 (Таблица 13).

Таблица 13 – Характеристика условий формирования сыра

Параметр	Система содержания	Стадия лактации	Сезон
Сценарий 1: Оптимальное сырье (n=115)	Беспривязное	Середина (120–180 дн.)	Лето
Сценарий 2: Сырье с риском (n=106)	Привязное	Конец (240–280 дн.)	Зима
Сценарий 3: Сырье с риском (n=91)	Привязное	Начало (40–80 дн.)	Весна

Физико-химические и микробиологические показатели сырья, а также технологические параметры выработки сыра представлены в Таблицах 14 и 15.

Таблица 14 – Показатели молока–сырья в зависимости от сценария

Показатель	Сценарий 1: Оптимальное сырье	Сценарий 2: Сырье с риском	Сценарий 3: Сырье с риском
Массовая доля белка, %	$3,29 \pm 0,02^{2***3***}$	$3,11 \pm 0,03$	$3,07 \pm 0,04$
Массовая доля жира, %	$3,66 \pm 0,03^{2***3***}$	$3,49 \pm 0,04$	$3,44 \pm 0,05$
Казеиновое число, %	$79,8 \pm 0,8^{2*3**}$	$76,5 \pm 1,2$	$75,2 \pm 1,4$
Плотность, кг/м³	$1031,5 \pm 0,4^{2***3***}$	$1029,2 \pm 0,5$	$1028,6 \pm 0,6$
СОМО, %	$8,48 \pm 0,05$	$8,39 \pm 0,06$	$8,34 \pm 0,07$
ССК, тыс./мл	$275 \pm 32^{2***3***}$	535 ± 68	672 ± 82
ОБО, тыс. КОЕ/см³	$62 \pm 14^{2***3***}$	192 ± 42	285 ± 58

Примечание: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$ относительно сценария 1, 2, 3.

Таблица 15 – Показатели выработки сычужного сыра по сценариям

Показатель	Сценарий 1: Оптимальное сырье	Сценарий 2: Сырье с риском	Сценарий 3: Сырье с риском
Выход сыра, % от массы молока	$10,9 \pm 0,2^{2*3***}$	$9,8 \pm 0,3$	$9,4 \pm 0,4$
Время свертывания, мин	$13,8 \pm 1,4^{2*3***}$	$20,2 \pm 2,1$	$24,2 \pm 2,6$
Активная кислотность (pH)	$5,34 \pm 0,04^{3*}$	$5,46 \pm 0,05$	$5,52 \pm 0,06$
Интенсивность вкуса, баллы (1–5)	$4,9 \pm 0,1^{2*3**}$	$3,9 \pm 0,3$	$3,4 \pm 0,4$
Консистенция, баллы (1–5)	$4,9 \pm 0,1^{2*3*}$	$4,1 \pm 0,3^{3***}$	$3,7 \pm 0,4$
Содержание влаги, %	$38,2 \pm 0,9^{2*3*}$	$41,5 \pm 1,4$	$43,2 \pm 1,7^{2***}$

При переходе от оптимального сырья (сценарий 1) к сырью с риском (сценарий 3) зафиксировано статистически значимое снижение ключевых показателей: массовой доли белка на 6,7 % ($p \leq 0,01$), казеинового числа на 5,8 % ($p \leq 0,05$), рост ССК в 2,4 раза ($p \leq 0,001$) и ОБО в 4,6 раза ($p \leq 0,001$). Как следствие, выход сыра снизился с 10,9 % до 9,4 % ($p \leq 0,001$), время свертывания возросло в

1,75 раза (с 13,8 до 24,2 мин; $p \leq 0,001$), интенсивность вкуса упала с 4,9 до 3,4 балла, а консистенция – с 4,9 до 3,7 балла ($p \leq 0,01$).

Органолептическая оценка подтвердила инструментальные данные: образцы сценария 1 характеризовались гармоничным развитием всех свойств (4,8–4,9 балла); сценарий 2 получил 4,0–4,2 балла; продукт сценария 3 был признан техническим браком (3,4–3,7 балла) из-за пороков вкуса и консистенции. Полученные результаты доказывают, что управление качеством на этапе первичного производства является главным условием обеспечения стабильно высоких потребительских свойств готовой продукции.

Глава 5 Разработка научно обоснованной модели предиктивной оценки биологического потенциала и безопасности партий молока-сырья на основе его генетического профиля

Высокий полиморфизм гена BoLA-DRB3 позволяет рассматривать его аллели в качестве молекулярных маркеров резистентности либо восприимчивости к маститу – заболеванию, ведущему к росту содержания соматических клеток и снижению технологической ценности молока. Связь гена BoLA-DRB3 с качеством молочной продукции выстраивается в цепочку: генотип → иммунный ответ → устойчивость к маститу → здоровье вымени → состав и безопасность молока (уровень содержания белка, жира, казеина, ССК, бактериальная обсемененность) → технологические свойства (термоустойчивость, сыропригодность) → выход и качество готового продукта. Таким образом, BoLA-DRB3 может выступать фундаментальным предиктором потенциала сырья для глубокой переработки.

Молекулярно-генетические исследования выполнены на 187 полновозрастных коровах черно-пестрой породы. Генотипирование локуса BoLA-DRB3 методом ПЦР-ПДРФ с последующей конвертацией в международную номенклатуру IPD-MHC BoLA выявило 55 аллелей и 84 генотипа. Наблюдаемая гетерозиготность составила 0,9465, ожидаемая – 0,9211; индекс полиморфного информационного содержания PIC = 0,916, что характеризует локус как высокоинформативный маркер для маркер-вспомогательной селекции (Таблица 16).

Таблица 16 – Частоты наиболее распространенных аллелей гена BoLA-DRB3

Аллель (IPD-MHC)	Абсолютная частота (копий)	Относительная частота
011:01	59	0,1578
015:01	58	0,1551
006:01	29	0,0775
018:01	27	0,0722
001:01	26	0,0695
012:01	25	0,0668
009:02	21	0,0561
007:01	17	0,0455
014:01	14	0,0374
010:01	13	0,0348
(остальные 45 аллелей)	1–6	$\leq 0,0160$

Анализ неравновесного сцепления (LD) между всеми парами показал отсутствие сильных связей ($r^2 \leq 0,12$ для всех пар). Это позволяет рассматривать каждый

аллель как независимый генетический маркер. Тепловая карта D' (Рисунок 2) визуализирует области полного сцепления для редких аллелей и относительно свободное рекомбинирование наиболее частого аллеля 011:01.

Блоки полного сцепления ($D'=1$) характерны для редких вариантов; умеренное сцепление (*001:01 и *015:01, $D'=0,56$) не обеспечивает предсказательной силы ($r^2=0,119$). Преобладание высоких D' при низких r^2 подтверждает независимое наследование большинства аллелей.

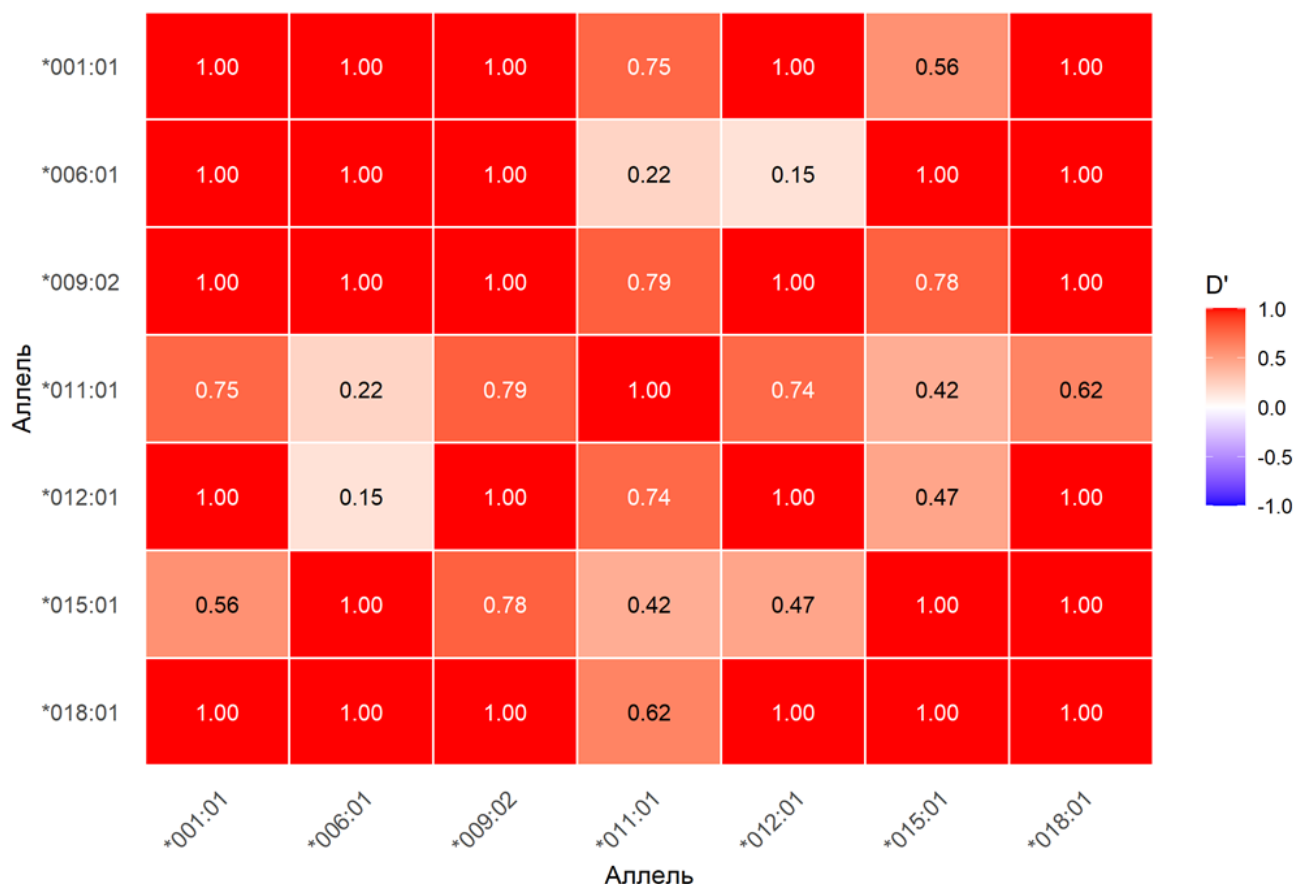


Рисунок 2 – Тепловая карта неравновесного сцепления (D') между аллелями BoLA-DRB3 с частотой >5%.

По уровню ССК в молоке животные разделены на группу А (≤ 400 тыс./мл, $n=51$, пригодное для сыроделия) и группу В (>400 тыс./мл, $n=136$). Для каждого аллеля рассчитаны отношения шансов (OR) и точный тест Фишера. Результаты для аллелей со значимой ассоциацией представлены в Таблице 17. Аллели с $OR \leq 1$ и $p \leq 0,05$ отнесены к защитным (R): *009:02, *011:01, *006:01; аллели с $OR > 1$ и $p \leq 0,05$ – к рисковым (S): *015:01, *018:01, *007:01. Остальные 49 аллелей классифицированы как нейтральные (N). Наиболее сильный защитный эффект выявлен у аллеля *009:02, который в 9 раз снижает вероятность попадания в группу с высоким ССК. Аллель *015:01, напротив, увеличивает этот риск более чем в 5 раз.

Дозовый эффект подтвержден логистической регрессией: каждый дополнительный R-аллель повышает шансы на низкий ССК в 4,27 раза (95% ДИ 2,57–7,46, $p \leq 0,0001$), каждый S-аллель снижает их до $OR=0,136$ (95% ДИ 0,056–0,289, $p \leq 0,0001$). В многофакторной модели эффекты R- и S-аллелей сохраняли значимость (OR 3,16 и 0,192 соответственно).

Таблица 17 – Ассоциация аллелей BoLA-DRB3 с уровнем соматических клеток

Аллель	Частота в группе А, %	Частота в группе В, %	OR (95% ДИ)	p-значение ¹	Эффект
009:02	21,6	2,9	0,11 (0,02–0,40)	0,00014	Защитный (R)
011:01	47,1	25,0	0,38 (0,18–0,78)	0,0047	Защитный (R)
006:01	27,5	10,3	0,31 (0,12–0,76)	0,0055	Защитный (R)
015:01	9,8	37,5	5,48 (2,00–18,82)	0,00014	Риск (S)
018:01	3,9	18,4	5,48 (1,28–49,58)	0,0102	Риск (S)
007:01	2,0	11,8	6,62 (0,98–284,7)	0,0444	Риск (S)
014:01	13,7	5,1	0,34 (0,10–1,22)	0,0616	Тенденция (R)
016:01	3,9	не определено	0,00 (0,00–1,98)	0,0733	Тенденция (R)
036:01	3,9	не определено	0,00 (0,00–1,98)	0,0733	Тенденция (R)

Статистически значимого взаимодействия между защитными (R) и рисковыми (S) аллелями не обнаружено ($p > 0,05$). Это означает, что их влияние на уровень соматических клеток является аддитивным (суммарным) – каждый дополнительный аллель добавляет свой эффект независимо от присутствия аллелей другого типа, без взаимного усиления или подавления.

В зависимости от числа R- и S-аллелей выделены шесть генотипических классов: R/R ($n=22$), R/N ($n=32$), N/N ($n=42$), R/S ($n=33$), S/N ($n=47$), S/S ($n=11$). В Таблице 18 представлены средние значения ССК, соматического балла (SCS) и доля животных с $ССК \leq 400$ тыс./мл.

Таблица 18 – Показатели ССК и SCS по генотипам BoLA-DRB3

Генотипический класс	n	Доля группы А, %	Средний ССК (тыс./мл)	Средний SCS
R/R	22	72,7	363 ± 62	$4,84 \pm 0,24$
R/N	32	56,3	409 ± 74	$5,01 \pm 0,26$
N/N	42	19,0	482 ± 92	$5,24 \pm 0,29$
R/S	33	12,1	497 ± 70	$5,30 \pm 0,21$
S/N	47	8,5	537 ± 77	$5,41 \pm 0,22$
S/S	11	0,0	600 ± 50	$5,58 \pm 0,12$

Обнаружен строгий монотонный градиент: $R/R \leq R/N \leq N/N \leq R/S \approx S/N \leq S/S$. Парные сравнения (тест Геймса–Хауэлла, тест Данна) подтвердили, что класс R/R достоверно превосходит все остальные ($p \leq 0,001$), включая N/N; различие с R/N не достигло значимости ($p=0,113$). Класс S/S, наоборот, значимо уступает всем ($p \leq 0,003$), за исключением S/N ($p=0,068$). Присутствие одного защитного аллеля (R/N) уже дает преимущество перед N/N (разность -73 тыс./мл, $p=0,003$). В то же время, комбинация R/S не отличается от S/N ($p=0,118$), что свидетельствует о доминировании негативного эффекта S-аллеля.

Логистическая регрессия с референсом N/N показала, что принадлежность к классу R/R повышает шансы оказаться в группе А в 11,3 раза ($OR=11,33$; 95% ДИ 3,55–41,2), к классу R/N – в 5,5 раза ($OR=5,46$; 95% ДИ 1,99–16,2) (Таблица 19). Классы R/S и S/N не отличались от N/N. Интегральный показатель генетического риска (диапазон от -2 до $+2$). ROC-анализ продемонстрировал очень хорошую прогностическую способность: $AUC = 0,808$ (95% ДИ 0,739–0,877). Порог $> -0,5$

обеспечивает чувствительность 85,4% и специфичность 68,0% для выявления животных с высоким ССК.

Таблица 19 – Логистическая регрессия принадлежности к группе А

Генотипический класс	OR	95% ДИ	р-значение
R/N	5,46	1,99–16,2	0,0014
R/R	11,33	3,55–41,2	$8,86 \times 10^{-5}$
R/S	0,59	0,14–2,06	0,4201
S/N	0,40	0,10–1,37	0,1559
S/S	$\approx 1 \times 10^{-7}$	—*	0,9892*

* Оценка нестабильна из-за полного разделения данных (все особи S/S находятся в группе В).

Сравнительный анализ групп А ($\text{ССК} \leq 400$ тыс./мл) и В ($\text{ССК} > 400$ тыс./мл) выявил достоверное снижение удоя (-344 кг; $p \leq 0,001$), содержания жира ($-0,08$ п.п.), белка ($-0,14$ п.п.) и, особенно, термоустойчивости ($-1,2$ мин; d Коэна 1,92) в группе В (Таблица 20).

Таблица 20 – Сравнение показателей молока в группах А и В ($M \pm SD$)

Показатель	Группа А (n = 51)	Группа В (n = 136)	p (t-тест Уэлча)	p (U- тест)	d Коэна [95% ДИ]
Удой за лактацию, кг	4539 ± 347	4195 ± 315	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	1,04 [0,67; 1,40]
Массовая доля жира, %	$3,56 \pm 0,08$	$3,48 \pm 0,08$	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	0,99 [0,62; 1,35]
Массовая доля белка, %	$3,23 \pm 0,08$	$3,09 \pm 0,10$	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	1,59 [1,18; 1,99]
Термоустойчивость, мин	$18,0 \pm 0,7$	$16,8 \pm 0,6$	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	1,92 [1,49; 2,34]
Соматический балл (SCS)	$4,81 \pm 0,15$	$5,38 \pm 0,23$	$\leq 0,001$	$\leq 0,001$	-3,42 [-3,93; -2,91]

Корреляционный анализ (Таблица 21) показал наиболее сильную отрицательную связь SCS с термоустойчивостью ($\rho = -0,78$; $p \leq 0,001$) и содержанием белка ($\rho = -0,71$; $p \leq 0,001$). Связь с удоем ($\rho = -0,59$) и жиром ($\rho = -0,51$) также высока. Повышение ССК является интегральным индикатором ухудшения не только санитарного состояния, но и всего комплекса технологически ценных свойств молока.

Таблица 21 – Коэффициенты корреляции SCS и показателями молока

Показатель	r Пирсона	ρ Спирмена	р-значение (ρ)
Удой за лактацию, кг	-0,56	-0,59	$\leq 0,001$
Массовая доля жира, %	-0,50	-0,51	$\leq 0,001$
Массовая доля белка, %	-0,68	-0,71	$\leq 0,001$
СОМО, %	-0,25	-0,25	$\leq 0,001$
Плотность, кг/м ³	-0,27	-0,27	$\leq 0,001$
Термоустойчивость, мин	-0,78	-0,78	$\leq 0,001$

Регрессионные модели подтвердили, что увеличение ССК на 100 тыс./мл ведет к снижению термоустойчивости на 0,58 мин ($R^2 = 0,62$) и удоя на 206 кг за

лактацию ($R^2=0,315$). Присутствие в генотипе хотя бы одного S-аллеля (классы R/S, S/N, S/S) достоверно снижает удой на 208–243 кг по сравнению с нейтральным классом N/N ($p \leq 0,001-0,009$), тогда как защитные R-аллели не дают значимого преимущества перед N/N при контроле ССК.

Анализ главных компонент (PCA) 8 технологических показателей выделил две компоненты, объясняющие 61,0% дисперсии (Таблица 22).

Первая компонента (PC1, 47,3% дисперсии) интерпретирована как ось «здоровье – продуктивность – качество» с высокими положительными нагрузками термоустойчивости (0,42), белка (0,40), удою (0,38) и отрицательной нагрузкой SCS (–0,45).

Таблица 22 – Нагрузки переменных на главные компоненты (PCA)

Переменная	PC1 (47,3%)	PC2 (13,8%)
Термоустойчивость	0,42	0,12
Массовая доля белка, %	0,40	0,30
Удой, кг	0,38	–0,07
SCS	–0,45	0,01
СОМО, %	0,26	0,53
Плотность, кг/м ³	0,21	0,51

Распределение генотипических классов в пространстве PC1–PC2 (Рисунок 3) показало четкую тенденцию: классы R/R и R/N смещены вправо (низкий ССК, высокое качество), N/N занимает центральное положение, а классы R/S, S/N и S/S смещены влево, в область повышенного ССК и пониженных технологических свойств.

Цвета обозначены шесть генотипических классов, эллипсы соответствуют 95% доверительной области. Стрелками показаны нагрузки исходных технологических показателей (их направления и длины отражают вклад в каждую из компонент).

Иерархическая кластеризация генотипических классов подтвердила разделение на «благоприятный» кластер (R/R, R/N, N/N) и «неблагоприятный» (S/S, S/N, R/S) (Рисунок 4).

Представленная на рисунке дендрограмма иерархической кластеризации генотипических классов по восьми стандартизованным технологическим показателям по методу Уорда, евклидово расстояние. Показано, что классы, несущие хотя бы один S-аллель, формируют отдельный кластер. Внутри благоприятного кластера R/R и R/N наиболее близки, тогда как N/N примыкает к ним на большем расстоянии. В неблагоприятном кластере S/N и R/S формируют тесную подгруппу, а S/S занимает крайне обособленное положение.

Линейный дискриминантный анализ (LDA) с 8 признаками дал точность классификации групп А и В 97,86% (специфичность 97,1%, чувствительность 100%), что подтверждает высокую предсказательную силу технологических показателей в отношении статуса вымени.

Распределение образцов в пространстве главных компонент

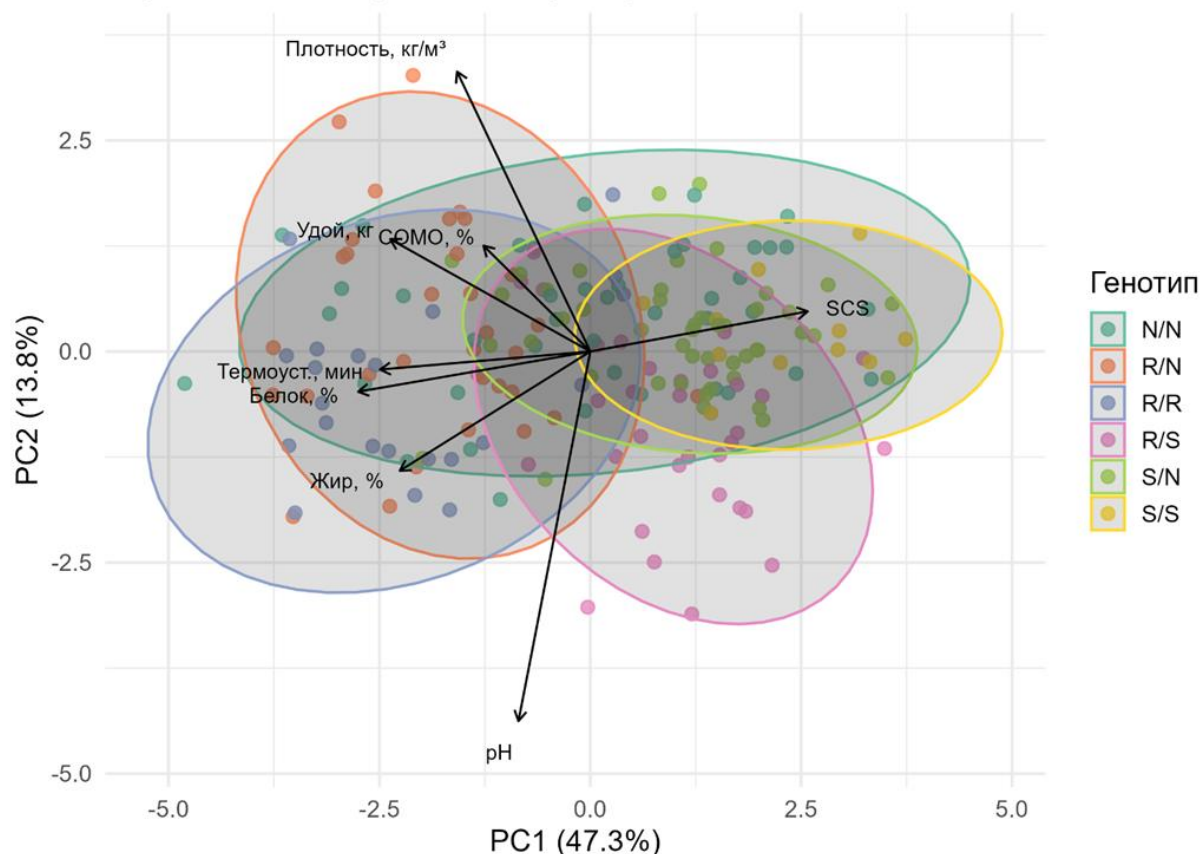


Рисунок 3 – Распределение образцов в пространстве первых двух главных компонент (PC1 и PC2) с группировкой по генотипическим классам BoLA-DRB3.



Рисунок 4 – Дендрограмма иерархической кластеризации генотипических классов

Разработан интегральный индекс качества молока (MQI), нормирующий жир, белок, СОМО, термоустойчивость и инвертированный ССК (Таблица 23). MQI достоверно снижается от 0,65 (R/R) до 0,29 (S/S) ($p \leq 0,001$), демонстрируя

градиент технологической ценности сырья. Максимальный MQI зарегистрирован у гомозигот по защитным аллелям R/R (0,65). Гетерозиготы R/N занимают второе место (0,60), причем различие между R/R и R/N статистически незначимо ($p = 0,48$, пост-хок тест Геймса-Хауэлла). Оба этих класса достоверно превосходят N/N (0,48; $p \leq 0,001$).

Таблица 23 – Индекс качества молока в зависимости от генотипического класса

Генотипический класс	n	MQI (среднее $\pm$ SD)
R/R	22	0,65 $\pm$ 0,12
R/N	32	0,60 $\pm$ 0,10
N/N	42	0,48 $\pm$ 0,15
R/S	33	0,40 $\pm$ 0,10
S/N	47	0,41 $\pm$ 0,11
S/S	11	0,29 $\pm$ 0,10

Экономическая оценка показала, что гомозиготы R/R обеспечивают наибольшую выручку от реализации молока (около 130 тыс. руб./гол.), а гомозиготы S/S – наименьшую (около 99 тыс. руб./гол.). Замена животных классов S/N или S/S на R/R способна обеспечить дополнительную годовую выручку до 26–31 млн руб. на стадо из 1000 голов.

На основе различий в казеиновом числе, уровне ССК и термоустойчивости построены прогнозные технологические параметры сыра для полярных генотипов (Таблица 24). Ожидаемое время свертывания для молока R/R составляет $14,0 \pm 0,5$ мин, для S/S – $20,0 \pm 1,0$ мин; прирост влажности сыра – 37,5% и 43,5% соответственно. Потери белка в сыворотку для S/S достигают 19–23%, что удваивает показатели R/R (9–14%). Риск формирования горького вкуса в сыре из молока S/S оценивается как высокий.

Таблица 24 – Технологические показатели сыра по генотипам BoLA-DRB3

Параметр	Генотип R/R (n = 22)	Генотип S/S (n = 11)
Ожидаемое время свертывания, мин	$14,0 \pm 0,5$	$20,0 \pm 1,0$
Прирост влажности сыра, %	37,5	43,5
Потери белка в сыворотку, %	9–14	19–23
Риск горького вкуса	низкий	высокий

Полиморфизм гена BoLA-DRB3 является мощным предиктором биотехнологической ценности молочного сырья. Классификация аллелей на защитные (R) и рискованные (S) позволила выделить шесть генотипических классов с монотонным градиентом ухудшения здоровья вымени, снижения содержания белка, жира, термоустойчивости и выхода сыра. Разработанные инструменты – показатель генетического риска ($AUC=0,808$), интегральный индекс качества молока MQI и прогностические технологические таблицы – дают возможность на этапе формирования стада прогнозировать пригодность сырья для выработки продуктов с заданными свойствами, маршрутизировать молоко на переработку и планировать биотехнологические воздействия.

Глава 6 Экспериментальное подтверждение возможности направленного формирования биологического профиля молока-сырья через регулирование нутриентного обеспечения

Изучено влияние пяти типов кормовых добавок (липидной – Л, белковой – Б, витаминной – В, пробиотической – П, ферментной – Ф) и их комплексов на молочную продуктивность, физико-химические и технологические показатели молока. Результаты влияния отдельных добавок представлены в Таблицах 25-27.

Липидная добавка обеспечила максимальное повышение массовой доли жира на 5,3 % ($p \leq 0,01$); белковая добавка увеличение массовой доли белка на 4,4 % ($p \leq 0,05$) и казеинового числа на 2,5 % ($p \leq 0,05$); пробиотическая добавка снижение уровня соматических клеток на 29 % ($p \leq 0,05$), титруемой кислотности ($p \leq 0,05$) и повышение термоустойчивости до 80,2 % ($p \leq 0,05$). Витаминная и ферментная добавки в отдельности значимого эффекта не оказали, однако усиливали действие других компонентов в составе комплексных схем.

Таблица 25 – Продуктивность и состав молока по группам добавок

Группа	Удой, кг/сутки	Массовая доля жира, %	Массовая доля белка, %
К	24,8 ± 1,6	3,58 ± 0,05	3,15 ± 0,06
Л	25,3 ± 1,2	3,77 ± 0,03 ^{К**}	3,17 ± 0,04
Б	25,9 ± 1,4	3,60 ± 0,04	3,29 ± 0,03 ^{К*В*Ф*Л*}
В	25,1 ± 1,3	3,59 ± 0,06	3,16 ± 0,05
П	25,4 ± 1,2	3,57 ± 0,04	3,19 ± 0,03
Ф	25,0 ± 1,3	3,59 ± 0,04	3,14 ± 0,04

Примечание: здесь и далее * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$; буквенные индексы указывают на статистически значимые различия с соответствующей группой

Таблица 26 – Белково-кислотные показатели молока по группам добавок

Группа	Казеиновое число, %	Титруемая кислотность, °Т	Индекс сыропригодности
К	77,2 ± 0,8	17,0 ± 0,5	100 ± 5
Л	77,6 ± 0,6	16,8 ± 0,4	106 ± 4
Б	79,1 ± 0,5 ^{К*}	16,5 ± 0,3	119 ± 5 ^{К**В*Л*Ф**}
В	77,3 ± 0,8	16,9 ± 0,6	103 ± 4
П	78,4 ± 0,6	16,3 ± 0,3	122 ± 5 ^{К**В**Л*Ф**}
Ф	77,1 ± 0,7	17,0 ± 0,4	100 ± 4

Таблица 27 – Санитарные показатели и термоустойчивость молока

Группа	ССК, тыс./мл	Кислотность жира, °К	Термоустойчивость, %
К	418 ± 32 ^{П**Б*}	1,25 ± 0,07	75,1 ± 1,8
Л	392 ± 30	1,11 ± 0,05	78,4 ± 1,5
Б	325 ± 26	1,23 ± 0,06	79,5 ± 1,4
В	388 ± 30	1,24 ± 0,08	76,0 ± 1,6
П	298 ± 22	1,19 ± 0,05	80,2 ± 1,4 ^{К*}
Ф	405 ± 35 ^{П*}	1,24 ± 0,06	75,3 ± 1,5

Анализ попарных различий (тест Тьюки) подтвердил, что по индексу сыропригодности белковая (119 %) и пробиотическая (122 %) добавки статистически

значимо превосходили липидную (106 %) ($p = 0,04$ и $p = 0,02$ соответственно); различия между группами Б и П были не значимы ($p = 0,32$).

Результаты комплексных схем кормления представлены в таблицах 28 и 29. Установлено наличие синергетического эффекта: индекс сыропригодности в группе Л+Б (130 %) превысил сумму эффектов отдельных добавок (106 % + 119 % – 100 % = 125 %). Максимальные результаты достигнуты в группе полного комплекса: удой увеличился на 15,6 % (до 27,4 кг/сут; $p \leq 0,001$), массовая доля жира на 7,3 % (до 3,84 %; $p \leq 0,01$), белка на 7,9 % (до 3,40 %; $p \leq 0,001$). Уровень соматических клеток снизился на 42,1 % (до 242 тыс./мл; $p \leq 0,001$), индекс сыропригодности достиг 154 % ($p \leq 0,001$), при этом синергетический эффект подтверждён статистически значимым превосходством полного комплекса над схемой Л+Б+П (143 %; $p \leq 0,05$).

Таблица 28 – Продуктивность и состав молока при комплексном кормлении

Показатель	Контроль	Комплекс 1 Л+Б	Комплекс 2 Л+Б+П	Полный комплекс
Удой, кг/сутки	23,7 ± 1,4	26,1 ± 1,3	26,9 ± 1,2	27,4 ± 1,1 ^{К*}
Массовая доля жира, %	3,58 ± 0,07	3,79 ± 0,05 ^{К*}	3,81 ± 0,04 ^{К**}	3,84 ± 0,04 ^{К**}
Массовая доля белка, %	3,15 ± 0,06	3,31 ± 0,04 ^{К*}	3,35 ± 0,03 ^{К**}	3,40 ± 0,03 ^{К***}
Казеиновое число, %	77,2 ± 0,9	79,7 ± 0,6 ^{К*}	80,2 ± 0,5 ^{К**}	80,8 ± 0,6 ^{К**}

Примечание: * – $p \leq 0,05$, ** – $p \leq 0,01$, *** – $p \leq 0,001$; индексы указывают на статистически значимые различия с контролем (К)

Таблица 29 – Качество молока при комплексном кормлении

Показатель	Контроль	Комплекс 1 Л+Б	Комплекс 2 Л+Б+П	Полный комплекс
ССК, тыс./мл	418 ± 32	310 ± 24 ^{К**}	278 ± 20 ^{К***}	242 ± 18 ^{К***1*}
Индекс сыропригодности	100 ± 4	130 ± 5 ^{К***}	143 ± 5 ^{К***1*}	154 ± 6 ^{К***1**}

Примечание: индексы указывают на статистически значимые различия с контролем (К) и комплексом 1

Анализ временной динамики показал, что эффект от использования добавок носит накопительный характер: для полной реализации потенциала требуется не менее 60–90 дней систематического применения.

Выработка творога кислотно-сычужным способом выявила прямую количественную связь между индексом сыропригодности (ИС) и выходом продукта, описываемую уравнением регрессии:

$$Y = 0,0593 \cdot X + 8,17 (R^2 = 0,95), (2)$$

где Y – выход творога, % от массы молока; X – ИС, % от контроля.

Увеличение ИС на 10 пунктов сопровождается ростом выхода на 0,59 %. Прирост выхода в группе полного комплекса (ИС = 154 %) составил 3,2 % абсолютных (с 14,1 ± 0,3 % до 17,2 ± 0,4 %).

Органолептическая оценка творога повысилась с 4,0 до 4,9 балла ($p \leq 0,01$), что сопровождалось улучшением сохранности и микробиологической стабильности продукта (Таблица 30).

Таблица 30 – Качества творога из оптимизированного сырья

Показатель	Контроль (ИС=100%)	Полный комплекс (ИС=154%)
Синерезис через 24 ч, %	6,0±0,5	4,0±0,4*
Синерезис через 48 ч, %	9,0±0,6	6,0±0,5*
ОБО через 5 сут, lg КОЕ/г	4,7±0,2	3,8±0,3*
Дрожжи/плесени через 10 сут, КОЕ/г	75±15	15±5*
Титруемая кислотность через 48 ч, °Т	190±10	170±8*
Активная кислотность (рН) через 48 ч	4,7±0,1	5,0±0,1*

Таким образом, комплексная оптимизация нутриентного обеспечения является эффективным инструментом направленного формирования технологических свойств молочного сырья, обеспечивающим повышение выхода и качества готовой продукции.

Глава 7 Количественная оценка эффективности комплекса биотехнологических методов профилактики в обеспечении микробиологической безопасности и биохимической стабильности молочного сырья

Производственный эксперимент проведен на 240 коровах в четырех хозяйствах Кемеровской области. Опытные группы (n=120) в течение полной лактации получали комплекс превентивных мероприятий, основанный на 8 патентах РФ и включающий биотехнологические подходы: фитопрофилактику, физиотерапию, пробиотическую поддержку и витаминно-минеральную коррекцию (Таблица 31). Контрольные группы (n=120) находились в стандартных хозяйственных условиях.

Таблица 31 – Комплекс превентивных мероприятий

Блок	Мероприятия	Патент РФ	Ожидаемый эффект
Фитопрофилактика	Экстракты левзеи сафлоровидной, крапивы, чабреца и ромашки курсами в критические периоды (раздой, сухостой, после отёла)	RU2721272, RU2736298, RU2784728, RU2786229	Повышение резистентности, снижение мастита и эндометрита
Физиотерапия	Электростимуляция зон вымени (ДиаДЭНС-Т), лазерное облучение вымени и матки («Орион Степ») по запатентованным схемам	RU2727574, RU2795654, RU2809440	Профилактика субклинического мастита, ускорение инволюции матки
Пробиотическая поддержка	Пробиотик на основе <i>Bacillus subtilis</i> и <i>Lactobacillus spp.</i> в течение всей лактации	-	Нормализация микробиома, снижение бактериальной нагрузки
Витаминно-минеральная коррекция	Препараты Элеовит и Е-Селен по схемам, синхронизированным с репродуктивным циклом	RU2785290, RU2811246	Оптимизация обмена веществ, повышение оплодотворяемости

Применение разработанного комплекса превентивных мероприятий обеспечило статистически значимое улучшение санитарно-гигиенических и биохимических показателей молочного сырья. Уровень соматических клеток (ССК) в опытной группе снизился на 25 %, с 420 ± 18 до 315 ± 12 тыс./мл ($p \leq 0,001$). Бактериальная обсемененность (количество мезофильных аэробных и факультативно-

анаэробных микроорганизмов – КМАФАнМ) уменьшилась на 47,5 %, с $4,63 \pm 0,10$ до $4,35 \pm 0,08$ lg КОЕ/см³ ($p \leq 0,001$) (Таблица 32).

Таблица 32 – Влияние превентивных мероприятий на безопасность молока

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
ССК, тыс./мл	$420 \pm 18^{***}$	315 ± 12
ОБО, lg КОЕ/см ³	$4,63 \pm 0,10^{***}$	$4,35 \pm 0,08$
БГКП (в 1 см ³)	Не обнаружено	Не обнаружено

При хранении молока (4 °С, 48 ч) зафиксировано замедление липолиза и окислительной порчи: прирост титруемой кислотности снизился на 33 % ($p \leq 0,001$), содержание свободных жирных кислот на 27 % ($p \leq 0,001$), перекисное число на 28,6 % ($p \leq 0,001$). Интегральный индекс сыропригодности в опытной группе достиг 138 ± 6 % относительно контроля ($p \leq 0,001$), что подтверждает повышение технологического потенциала молока для сыроделия (Таблица 33).

Таблица 33 – Влияние превентивных мероприятий на биохимические показатели молока при хранении (4°С, 48 ч)

Показатель	Контрольная группа	Опытная группа
Прирост титруемой кислотности, °Т	$1,8 \pm 0,1^{***}$	$1,2 \pm 0,1$
Содержание свободных жирных кислот, мэкв/100 г жира	$0,85 \pm 0,04^{***}$	$0,62 \pm 0,03$
Перекисное число жира, ммоль О ₂ /кг	$0,42 \pm 0,03^{***}$	$0,30 \pm 0,02$
Индекс сыропригодности (расчетный), % к контролю	$100 \pm 5^{***}$	138 ± 6

Анализ динамики ССК в течение продуктивного периода выявил принципиальные различия между группами: в контрольной группе наблюдалась типичная U-образная кривая с резким ростом ССК к концу лактации, тогда как в опытной группе уровень ССК оставался стабильно низким на протяжении всей лактации. Сходная картина отмечена и для бактериальной обсемененности: в опытной группе показатель сохранялся в пределах $4,2\text{--}4,5$ lg КОЕ/см³, что соответствует нормам для молока высшего сорта.

Анализ структуры технологического брака при производстве сычужного сыра (Таблица 34) показал, что внедрение комплекса превентивных мероприятий обеспечило снижение общей доли брака с $55,0 \pm 2,5$ % до $30,0 \pm 1,6$ % (на 25 п.п.; $p \leq 0,001$).

Таблица 34 – Технологический брак сыра до и после внедрения комплекса

Причина технологического брака	Доля брака, %		Абсолютное снижение, п. п.
	Контрольная группа	Опытная группа	
Плохой сгусток	$25,0 \pm 1,8$	$10,0 \pm 0,9^{**}$	15,0
Пороки вкуса	$18,0 \pm 1,5$	$8,0 \pm 0,7^*$	10,0
Вспучивание	$7,0 \pm 0,6$	$4,0 \pm 0,4^*$	3,0
Неправильный рисунок	$5,0 \pm 0,5$	$3,0 \pm 0,3^*$	2,0
Прочие причины	0	$5,0 \pm 0,8$	5,0
Общая доля брака	$55,0 \pm 2,5$	$30,0 \pm 1,6^{***}$	25,0

Наиболее выраженное снижение достигнуто по причинам «плохой сгусток» в 2,5 раза ($p \leq 0,01$) и «пороки вкуса» в 2,25 раза ($p \leq 0,05$), что напрямую связано со снижением уровня ССК до 315 тыс./мл, обеспечившим повышение сохранности нативного казеина и снижение активности плазмينا. Снижение доли брака по причине «вспучивание» (в 1,75 раза; $p \leq 0,05$) обусловлено улучшением микробиологического качества сырья и оптимизацией газообразования.

Таким образом, разработанный комплекс превентивных биотехнологических мероприятий без применения антибиотиков обеспечивает значимое и устойчивое улучшение безопасности и технологических свойств молока, что напрямую трансформируется в повышение выхода и качества готовой продукции. Результаты служат практической основой для интеграции профилактических биотехнологий в единую систему управления качеством молочного сырья.

Глава 8 Разработка и внедрение интегрированной системы управления биотехнологическим потенциалом молочного сырья и комплексная оценка ее эффективности в пищевых системах

На основе результатов предыдущих глав разработана интегрированная система управления биологическими свойствами и безопасностью молочного сырья (Рисунок 5).

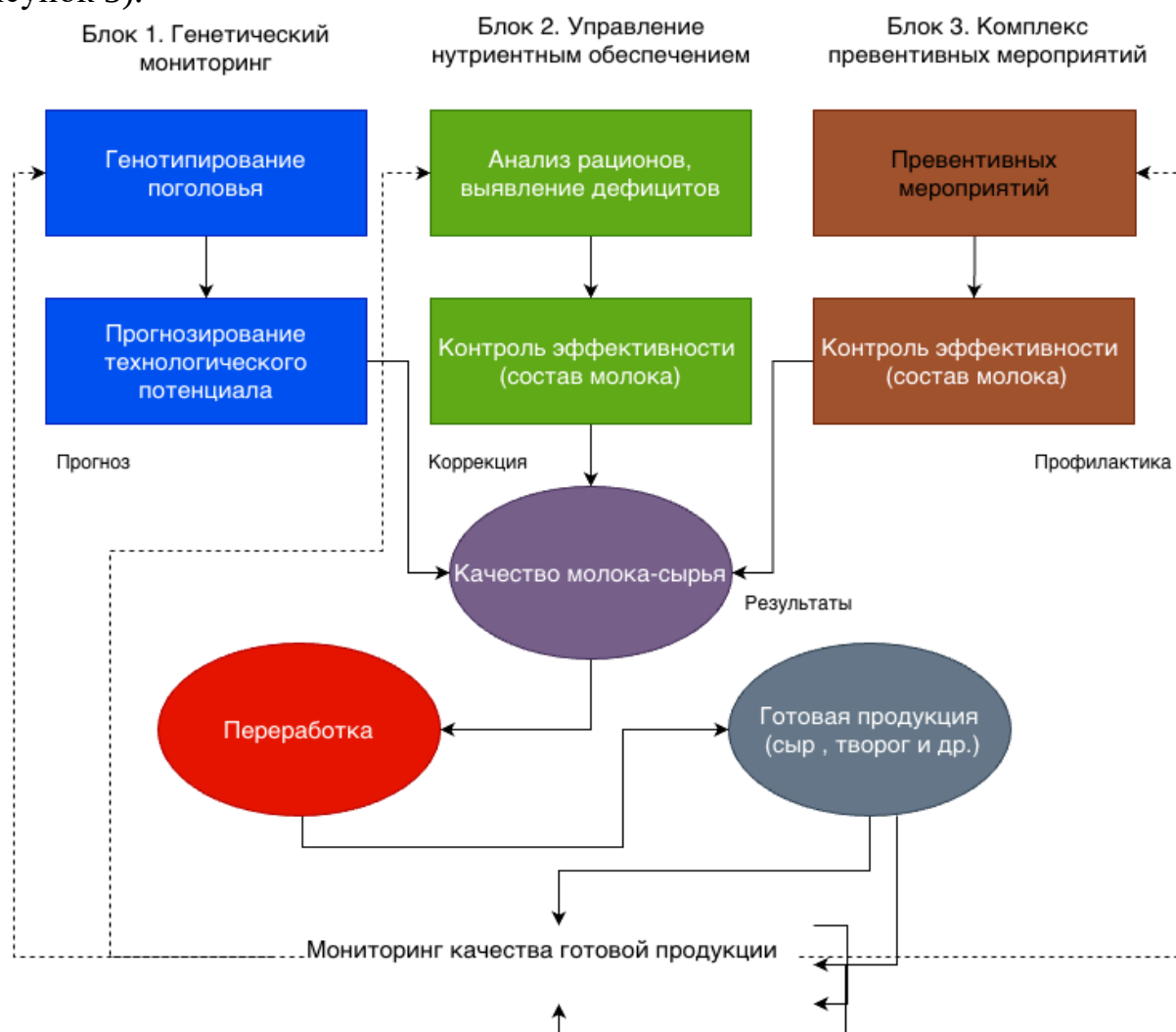


Рисунок 5 – Блок-схема концептуальной модели системы управления качеством молочного сырья на основе биотехнологических подходов

Модель включает три взаимосвязанных блока: генетический мониторинг; управление нутриентным обеспечением; комплекс превентивных санитарно-гигиенических мероприятий.

Главная особенность системы – цикличность и обратная связь: результаты мониторинга качества готовой продукции используются для коррекции воздействий на этапе получения сырья. В основу системы положены разработки, защищенные патентами РФ на изобретения.

Комплексное применение перечисленных приемов в рамках единой системы управления позволяет обеспечить синергетический эффект, выражающийся в устойчивом улучшении санитарных показателей, физико-химических свойств и технологической пригодности молочного сырья, что было подтверждено в ходе поэтапного производственного внедрения в технологию предприятия.

Производственная апробация и внедрение системы проведены в ООО «Сосновский» (Кемеровская область) в 2022–2024 гг. Внедрение осуществлялось поэтапно в соответствии с разработанным алгоритмом (Таблица 35).

Таблица 35 – Алгоритм поэтапного внедрения системы управления

Этап	Содержание работ	Ожидаемый результат	Сроки выполнения
1	Генотипирование поголовья	Формирование базы данных о генотипах	1–2 месяца
2	Расчет потребности в кормовых добавках на основе анализа рационов и генотипов	Оптимизация рационов для разных технологических групп	1 месяц после завершения этапа 1
3	Обучение персонала	Повышение квалификации специалистов	2 недели
4	Поэтапное введение кормовых добавок в рационы	Адаптация животных к новым рационам	2 месяца
5	Ежемесячный мониторинг показателей качества молока	Оценка динамики, выявление отклонений	Постоянно с начала этапа 4
6	Корректировка дозировок добавок и схем профилактических мероприятий по результатам мониторинга	Оптимизация управляющих воздействий	Ежеквартально
7	Оценка экономической эффективности после 12 месяцев внедрения	Расчет экономического эффекта	После завершения года

По истечении 12-месячного периода внедрения проведена сравнительная оценка качества сырья и эффективность переработки (Таблица 36).

Таблица 36 – Качество молочного сырья до и после внедрения системы

Показатель	До внедрения (базовый период)	После внедрения (отчетный период)	Относительный эффект, %
Массовая доля белка, %	$3,20 \pm 0,02$	$3,34 \pm 0,02^{***}$	+4,3
ССК, тыс./мл	400 ± 15	$300 \pm 10^{***}$	–25,0
Доля молока, пригодного для сыроделия (1 сорт)	65 ± 3	$92 \pm 2^{***}$	+41,5

Массовая доля белка в молоке-сырье увеличилась с 3,20 до 3,34 % (+4,3 %; $p \leq 0,001$), уровень соматических клеток снизился с 400 до 300 тыс./мл (–25 %; $p \leq 0,001$), а доля молока первого сорта возросла с 65 до 92 % (+41,5 %; $p \leq 0,001$).

Выход сыра увеличился на 5,9 % (с 10,2 до 10,8 %; $p \leq 0,05$), доля технологического брака сократилась на 56,4 % (с 5,5 до 2,4 %; $p \leq 0,01$), расход молока на 1 т сыра снизился на 5,5 % (с 9,80 до 9,26 т). Достигнутые показатели согласуются с результатами, полученными в экспериментальных главах работы (Таблица 37).

Таблица 37 – Эффективность переработки молока

Показатель	До внедрения (базовый период)	После внедрения (отчетный период)	Относительный эффект, %
Выход сыра, %	10,2 ± 0,2	10,8 ± 0,2*	+5,9
Доля технологического брака, %	5,5 ± 0,5	2,4 ± 0,3**	–56,4
Расход молока на 1 т сыра, т	9,80	9,26	–5,5
Себестоимость сырьевой составляющей 1 т сыра, тыс. руб	352,8	333,4	–5,5

Экономическая эффективность внедрения системы оценивалась по трем направлениям (Таблица 38). Совокупные инвестиции на начальном этапе составили 700 тыс. руб. (генотипирование – 150 тыс. руб., обучение персонала – 100 тыс. руб. – одновременно; закупка кормовых добавок – 450 тыс. руб./год – текущие расходы). Чистая годовая прибыль (2 300 000 – 450 000 = 1 850 000 руб.) обеспечила окупаемость первоначальных инвестиций (250 тыс. руб.) за ≈1,62 мес. С учетом сезонности производства и времени выхода системы на проектную мощность фактический срок окупаемости совокупных затрат составил 10 мес.

Таблица 38 – Экономический эффект от внедрения системы управления

Показатель	Значение
Дополнительный выход сыра	0,6 т
Дополнительная выручка (при цене 700 000 руб./т)	420,0 тыс. руб.
Экономия на браке и энергозатратах	403,9 тыс. руб.
Вклад генотипической сортировки	300-500 тыс. руб
Прямой экономический эффект	823,9 тыс. руб.
Дополнительный эффект (сортность, технологические свойства)	1476,1 тыс. руб.
Общий годовой экономический эффект	2300 тыс. руб.

Система умеренно чувствительна к росту стоимости кормовых добавок (при росте на 40 % эффект снижается на 7,8 %). Наиболее критичным фактором является цена реализации сыра: при ее падении на 20 % эффект сокращается на 35,7 %, однако срок окупаемости не превышает 16 мес., что укладывается в нормативные требования к инвестициям в АПК (3–5 лет). Параллельный мониторинг на других производственных площадках подтвердил воспроизводимость полученных результатов.

Внедрение разработанной системы обеспечивает не только прямой экономический эффект, но и способствует повышению конкурентоспособности пред-

приятия, улучшению здоровья животных, снижению техногенной нагрузки на окружающую среду и создает основу для цифровой трансформации отрасли.

Для оперативного использования моделей разработан прототип цифровой платформы на базе R Shiny, включающий модули: генетической оценки (прогноз MQI, ССК, термоустойчивости по генотипу), оптимизации нутриентного обеспечения (подбор схем добавок под целевую сыропригодность), оценки превентивных мероприятий (расчет ожидаемого эффекта от запатентованных методик) и «Творожный калькулятор» (прогноз выхода творога по уравнению $Y=0,0593 \cdot X+8,17$). Интерфейс платформы представлен на Рисунке 6. Платформа обеспечивает переход к управлению качеством, основанному на данных, достоверность и наглядность прогнозов, может быть адаптирована для мобильных устройств и интегрирована с существующими системами учета.

Разработанная система создает основу для цифровой трансформации отрасли и повышения ее инвестиционной привлекательности.

Таким образом, интеграция генетического мониторинга, нутритивной биоинженерии и превентивной биотехнологии в единую систему позволяет стабильно повышать качество молочного сырья, увеличивать выход и снижать брак при переработке, достигая существенного экономического эффекта и создавая основу для цифровой трансформации молочной отрасли.

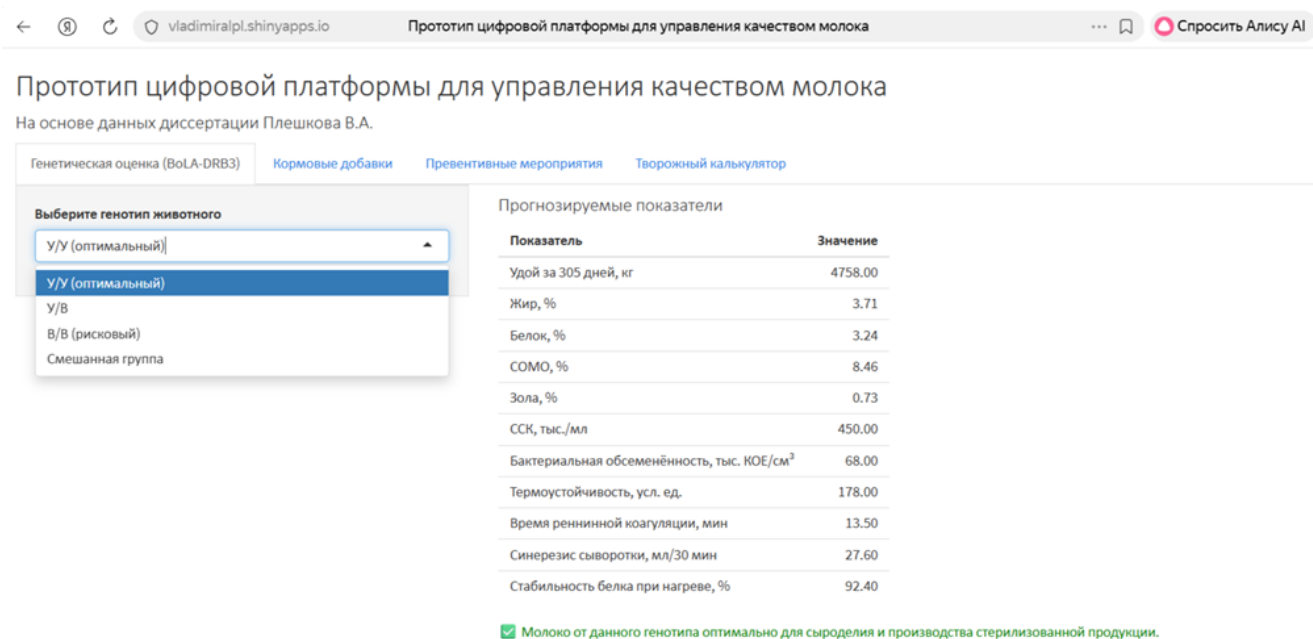


Рисунок 6 – Интерфейс прототипа цифровой платформы (модуль генетической оценки)

ВЫВОДЫ

1. На репрезентативной выборке (более 3000 проб) установлены количественные вклады паратипических факторов в изменчивость технологически значимых показателей. Наибольшее влияние на качество молока оказывают физиологическое состояние (стадия лактации) и сезон года; построенная с их участием многофакторная модель объясняет до 81,5 % вариации бактериальной обсеменен-

ности и до 72,0 % вариации содержания соматических клеток. Определены оптимальные условия формирования сырья с высоким биотехнологическим потенциалом: середина лактации (101–200 дней), летний период, беспривязное содержание, трехкратное доение. Молоко, полученное в этих условиях, отличается повышенной сыропригодностью и обеспечивает максимальный выход и качество готовой продукции (на примере сычужного сыра).

2. Впервые для черно-пестрой породы Западной Сибири доказаны статистически значимые ассоциации аллельных вариантов гена BoLA-DRB3 с качеством и безопасностью молочного сырья. Гомозиготы по защитным аллелям (R/R) продуцируют молоко с минимальным содержанием соматических клеток (363 тыс./мл), максимальной термоустойчивостью (18 мин) и наивысшим интегральным индексом качества MQI (0,65), тогда как гомозиготы по аллелям риска (S/S) – противоположные показатели (ССК 600 тыс./мл, MQI 0,29). Разработана модель предиктивной оценки биотехнологической пригодности сырья на основе генотипа, включающая классификацию аллелей, критерии MQI и индекса риска, а также ROC-анализ ($AUC = 0,808$), что позволяет прогнозировать технологические риски и планировать управляющие воздействия на этапе формирования стада.

3. Подтверждено, что различные типы кормовых добавок оказывают специфическое действие: липидные повышают массовую долю жира (до 3,77%), белковые массовую долю белка (до 3,29%) и казеинового числа (до 79,1%), пробиотические – снижают уровень соматических клеток (до 298 тыс./мл) и повышают термоустойчивость (до 80,2%). При комплексном применении (липиды + белки + пробиотики + витамины + ферменты) обнаружен синергетический эффект: удой увеличился на 10,5%, массовая доля жира на 7,3%, массовая доля белка на 7,9%, уровень соматических клеток снизился на 42,1%, а индекс сыропригодности достиг 154% относительно контроля. Выявлена прямая количественная связь ($R^2 = 0,95$) между индексом сыропригодности и выходом творога, что позволяет целенаправленно формировать потребительские свойства готовой продукции через оптимизацию кормления.

4. Применение разработанного комплекса превентивных мероприятий (фитопрофилактика, физиотерапия, пробиотическая поддержка, витаминно-минеральная коррекция) в течение полного продуктивного цикла обеспечило статистически значимое снижение уровня соматических клеток на 25%. Зафиксировано замедление липолиза и окислительной порчи при хранении: прирост титруемой кислотности снизился на 33%, содержание свободных жирных кислот – на 27%, перекисное число – на 28,6%. Как следствие, интегральный индекс сыропригодности в опытной группе достиг 138%, а доля технологического брака при производстве сыра сократилась с 55 до 30%.

5. Разработана и внедрена в ООО «Сосновский» интегрированная биотехнологическая система управления качеством молочного сырья, объединяющая генетический мониторинг, оптимизацию кормления и комплекс превентивных мероприятий. В производственных условиях достигнуто повышение содержания белка на 4,3%, снижение уровня соматических клеток на 25% и рост доли молока высшего сорта с 65 до 92% (на 27 %). Выход сыра увеличился на 5,9%, расход молока на 1 т сыра снизился на 5,5%, доля технологического брака сократилась в 2,3 раза.

Годовой экономический эффект составил 2,3 млн. рублей на 100 т переработанного молока при сроке окупаемости 10 месяцев. Разработанный прототип цифровой платформы на базе R Shiny обеспечивает оперативное использование всех созданных моделей в практике пищевой биотехнологии.

Основные публикации по материалам диссертационной работы Статьи, индексируемые в международных базах цитирования Scopus и Web of Science

1. Zubova, T.V. The use of carotene-containing preparation in cows for the prevention of postpartum complications / T.V. Zubova, **V.A. Pleshkov**, O.V. Smolovskaya, A.N. Mironov, L.N. Korobeynikova // *Veterinary World*. – 2021. – Vol. 14, No. 5. – P. 1059-1066. – DOI 10.14202/vetworld.2021.1059-1066.
2. Tkachev, A.V. Effect of mycotoxins on the spermatozoa and embryos of animals / A.V. Tkachev, O.L. Tkacheva, T.V. Zubova, **V.A. Pleshkov**, O. V. Smolovskaya // *Advances in Animal and Veterinary Sciences*. – 2020. – Vol. 8, No. S3. – P. 47-55.
3. Зубова, Т. В. Современные методы и опыт борьбы с лейкозом крупного рогатого скота / Т.В. Зубова, **В.А. Плешков**, А.Н. Миронов // *В мире научных открытий*. – 2018. – Т. 10, № 5. – С. 119-131.
4. Kovalenko, A.M. Distal extremities diseases in dairy cattle related to qualitative and quantitative indicators of embryos obtained from donor cows / A.M. Kovalenko, A.V. Tkachev, O.L. Tkacheva, T.V. Zubova, **V.A. Pleshkov**, O.V. Smolovskaya // *International Journal of Advanced Science and Technology*. – 2020. – Vol. 29, No. S9. – P. 1271-1282.

Статьи, опубликованные в изданиях из перечня, установленного ВАК при Министерстве науки и высшего образования Российской Федерации

5. Просеков, А. Ю. Биотехнологические решения в производстве высококачественного молока-сырья / А. Ю. Просеков, **В. А. Плешков**, О. В. Козлова // *Молочная промышленность*. – 2026. – № 1. – С. 10-27. – DOI 10.21603/1019-8946-2026-1-74.
6. **Плешков, В. А.** Анализ факторов развития и ограничений молочной отрасли России в 1990-2025 гг / **В. А. Плешков**, О. В. Козлова // *Молочная промышленность*. – 2026. – № 2. – С. 14-28. – DOI 10.21603/1019-8946-2026-2-82.
7. **Плешков, В. А.** Формирование технологически значимых характеристик молочного сырья под влиянием нутриентного обеспечения (обзор) / **В. А. Плешков**, А. Ю. Просеков, О. В. Козлова // *АПК России*. – 2026. – Т. 33, № 1. – С. 88-109. – DOI 10.55934/2587-8824-2026-33-1-88-109.
8. Научное обоснование применения биологического консерванта и пробиотика для повышения конверсии зерносенажа в продукцию мясного скотоводства / А. Ю. Просеков, **В. А. Плешков**, О. В. Козлова, А. Н. Миронов // *Все о мясе*. – 2026. – № 1. – С. 23-29. – DOI 10.21323/2071-2499-2026-1-23-29.
9. **Плешков, В. А.** Фундаментальные принципы и механизмы формирования сыропригодности молочного сырья / **В. А. Плешков**, О. В. Козлова // *Сыро-*

делие и маслоделие. – 2026. – № 1. – С. 67-91. – DOI 10.21603/2073-4018-2026-1-50.

10. **Плешков, В. А.** Ассоциация аллельных вариантов гена BoLA-DRB3 с технологическими свойствами молока и его пригодностью для сыроделия и маслоделия / **В. А. Плешков**, О. В. Козлова // Сыроделие и маслоделие. – 2026. – № 2. – С. 95–104. <https://doi.org/10.21603/2073-4018-2026-2-60>.

11. Касьянов, Р.О. Разработка компонента питательной среды из биологических жидкостей репродуктивной системы коров для повышения эффективности производства эмбрионов крупного рогатого скота *in vitro* / Р.О. Касьянов, **В.А. Плешков**, О.В. Смоловская, А.Д. Арсентьева // Вестник КрасГАУ. – 2025. – № 6 (219). – С. 160-181.

12. **Плешков, В.А.** Морфобиохимические показатели крови коров чернопестрой породы в зависимости от уровня молочной продуктивности / **В.А. Плешков**, А.Н. Миронов, С.Г. Лысенко, А.А. Завьялов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2025. – № 1 (243). – С. 64-69.

13. **Плешков, В.А.** Использование ферментного препарата в рационе дойных коров / В.А. Плешков, О.В. Смоловская, Р.О. Касьянов // Пермский аграрный вестник. – 2025. – № 3 (51). – С. 132-138.

14. **Плешков, В.А.** Оценка влияния возраста и живой массы при первой случке на будущую продуктивность коров / **Плешков В.А.**, Касьянов Р.О., Смоловская О.В. // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (53). – С. 107-114.

15. Смоловская, О.В. Профилактика заболеваний конечностей крупного рогатого скота / О.В. Смоловская, Е.В. Ульрих, В.А. Плешков, Р.О. Касьянов // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2024. – № 1 (70). – С. 280-288.

16. **Плешков, В.А.** Причины выбытия коров из стад и их продуктивное долголетие в зависимости от возраста / **В.А. Плешков**, С.Н. Белова // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. – 2024. – № 4 (72). – С. 92-97.

17. **Плешков, В.А.** Эффективность использования ферментного препарата в кормлении лактирующих коров / **В.А. Плешков**, О.В. Смоловская // Пермский аграрный вестник. – 2024. – № 2 (46). – С. 139-143.

18. Белова, С.Н. Продуктивное долголетие коров в зависимости от способа содержания / С.Н. Белова, **В.А. Плешков** // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2 (67). – С. 142-147.

19. Зубова, Т.В. Биохимические и морфологические показатели крови коров с субклинической формой мастита / Т.В. Зубова, **В.А. Плешков**, О.В. Смоловская, А.В. Семечкова // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). – 2023. – № 2 (67). – С. 181-189.

20. **Плешков, В.А.** Использование витаминной кормовой добавки при выращивании молодняка крупного рогатого скота / **В.А. Плешков**, О.В. Смоловская, Е.В. Ульрих, Р.О. Касьянов // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2023. – № 12. – С. 117-121.

21. Ткачев, В. Ю. Интрацитоплазматическая инъекция спермы крупного рогатого скота (обзор) / В.Ю. Ткачев, Т.В. Зубова, **В.А. Плешков** // АПК России. – 2023. – Т. 30, № 3. – С. 416-423.
22. Зубова, Т.В. Физиологические и морфобиохимические аспекты кетоза коров / Т.В. Зубова, **В.А. Плешков** // Вестник КрасГАУ. – 2022. – № 12 (189). – С. 140-148.
23. Смоловская, О.В. Терапия субклинического мастита у коров / О.В. Смоловская, Т.В. Зубова, **В.А. Плешков**, А.В. Семечкова // Достижения науки и техники АПК. – 2022. – Т. 36, № 6. – С. 75-78.
24. **Плешков, В.А.** Использование белково-витаминно-минеральной кормовой добавки с пробиотиком «Биодарин» в кормлении молодняка крупного рогатого скота / **В.А. Плешков**, С.Н. Белова, А.Н. Миронов // Молочнохозяйственный вестник. – 2022. – № 2 (46). – С. 115-130.
25. Белова, С.Н. Зерновой сенаж в кормлении телок черно-пестрой породы / С.Н. Белова, **В.А. Плешков** // Молочнохозяйственный вестник. – 2022. – № 2 (46). – С. 37-52.
26. Бормина, Л.Н. Эффективность применения фитоэкстракта на основе люцерны посевной в кормлении телят / Л.Н. Бормина, Т.В. Зубова, **В.А. Плешков** // Молочнохозяйственный вестник. – 2022. – № 4 (48). – С. 25-38.
27. Белова, С.Н. Оценка и оптимизация минерального обмена лактирующих коров / С.Н. Белова, О.В. Смоловская, **В.А. Плешков**, А.В. Семечкова // Пермский аграрный вестник. – 2022. – № 3 (39). – С. 46-54.
28. Миронов, А.Н. Стимуляция резистентности новорожденных телят / А.Н. Миронов, **В.А. Плешков**, Т.В. Зубова // АПК России. – 2022. – Т. 29, № 1. – С. 70-77.
29. Миронов, А.Н. Факторы формирования продуктивности и защитных свойств организма новорожденных телят: обзор / А.Н. Миронов, **В.А. Плешков**, Т.В. Зубова // АПК России. – 2022. – Т. 29, № 4. – С. 525-532.
30. **Плешков, В.А.** Влияние качественных показателей сперматозоидов на оплодотворяемость ооцитов в условиях *in vitro* / **В.А. Плешков**, О.В. Смоловская, Т.В. Зубова, А.В. Семечкова, Р.О. Касьянов // Молочнохозяйственный вестник. – 2021. – № 4 (44). – С. 62-76.
31. **Плешков, В.А.** Биохимический статус крови интактных и инфицированных вирусом лейкоза крупного рогатого скота стельных коров / **В.А. Плешков**, Т.В. Зубова, А.Н. Миронов // Молочнохозяйственный вестник. – 2020. – № 2 (38). – С. 133-145.
32. **Зубова, Т.В.** Профилактика эмбриональной смертности у коров-реципиентов / Т.В. Зубова, О.В. Смоловская, **В.А. Плешков**, А.Н. Миронов // Молочнохозяйственный вестник. – 2020. – № 4 (40). – С. 32-40.
33. Белова, С.Н. Эффективность использования кормовой добавки примасан в рационах молодняка крупного рогатого скота / С.Н. Белова, **В.А. Плешков** // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33. – № 12. – С. 87-89.
34. Смоловская, О.В. Использование пробиотических кормовых добавок «Моноспорин» и «Бацелл» при выращивании телят черно-пестрой породы / О.В.

Смоловская, **В.А. Плешков**, Т.В. Зубова, Л.Н. Коробейникова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 10 (180). – С. 86-92.

35. Коваленко, А.М. Антимикробная и обезболивающая активность нового экспериментального препарата на основе наносеребра для лечения маститов крупного рогатого скота / А.М. Коваленко, А.В. Ткачев, О.Л. Ткачева, Т.В. Зубова, **В.А. Плешков**, О.В. Смоловская // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 11 (181). – С. 84-98.

36. **Плешков, В.А.** Гематологические показатели интактных и инфицированных вирусом лейкоза крупного рогатого скота стельных коров / **В.А. Плешков**, А.Н. Миронов, С.В. Степанян // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 12 (182). – С. 93-97.

37. **Плешков, В.А.** Пробиотическая кормовая добавка Бацелл-М в рационе телят / **В.А. Плешков** // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32, № 12. – С. 53-54.

Монографии

38. Биотехнологические решения в производстве высококачественного молочного и мясного сырья: монография / **В.А. Плешков**; Кемеровский государственный университет. – Кемерово, 2026. – 113 с.

39. Совершенствование и апробация ори-технологии получения ценного генетического материала для ускоренного воспроизводства высокопродуктивного крупного рогатого скота молочного направления на основе эмбриональной селекции / **В.А. Плешков**, Т.В. Зубова, О.В. Смоловская, А.В. Семечкова, Р.О. Касьянов, О.Б. Константинова, С.Ю. Гармашов, Л.В. Попова. – Кемерово, 2022. – 122 с.

Патенты

40. Патент № 2811246 С1 Российская Федерация, МПК А61К 31/00, А61Р 15/00. Витаминотерапия коров-реципиентов перед трансплантацией эмбрионов / Зубова Т.В., Семечкова А.В., **Плешков В.А.** – № 2023116092; заявл. 20.06.2023; опубл. 11.01.2024, Бюл. № 2.

41. Патент № 2795654 С1 Российская Федерация, МПК А61D 7/00, А61К 31/00, А61Р 15/00. Способ профилактики серозного мастита у коров / Зубова Т.В., Смоловская О.В., Семечкова А.В., **Плешков В.А.** – № 2023104684; заявл. 02.03.2023; опубл. 05.05.2023, Бюл. № 13.

42. Патент № 2804945 С1 Российская Федерация, МПК А61D 19/00. Способ синхронизации полового цикла коров / Зубова Т.В., **Плешков В.А.**, Хитрий Ф.Н. – № 2022132866; заявл. 15.12.2022; опубл. 09.10.2023, Бюл. № 28.

43. Патент № 2778147 С1 Российская Федерация, МПК С12N 5/00. Питательная среда для культивирования ооцитов крупного рогатого скота in vitro / **Плешков В.А.**, Зубова Т.В., Смоловская О.В., Семечкова А.В., Касьянов Р.О. – № 2021139145; заявл. 28.12.2021; опубл. 15.08.2022, Бюл. № 23.

44. Патент № 2782637 С1 Российская Федерация, МПК А61D 19/00, А61В 10/00. Способ отбора коров-доноров ооцитов / **Плешков В.А.**, Зубова Т.В., Смоловская О.В., Хитрий Ф.Н., Касьянов Р.О., Семечкова А.В., Гармашов С.Ю. – № 2021138913; заявл. 27.12.2021; опубл. 31.10.2022, Бюл. № 31.

45. Патент № 2784728 С1 Российская Федерация, МПК А61К 35/00, А61Р 15/00. Способ подавления роста бактериальной микрофлоры у коров с субклиническим маститом / Зубова Т.В., **Плешков В.А.**, Смоловская О.В., Семечкова А.В. – № 2022105361; заявл. 01.03.2022; опубл. 29.11.2022, Бюл. № 34.

46. Патент № 2785290 С1 Российская Федерация, МПК А61D 19/00. Способ синхронизации полового цикла коров для проведения искусственного осеменения / **Плешков В.А.**, Зубова Т.В., Хитрий Ф.Н. – № 2022124814; заявл. 21.09.2022; опубл. 06.12.2022, Бюл. № 34.

47. Патент № 2721272 С1 Российская Федерация, МПК А61К 31/00, А61Р 31/00. Способ повышения резистентности организма коров-доноров к инфекционным заболеваниям / Зубова Т.В., **Плешков В.А.**, Смоловская О.В., Гармашов С.Ю. – № 2019136393; заявл. 13.11.2019; опубл. 18.05.2020, Бюл. № 14.

48. Патент № 2727574 С1 Российская Федерация, МПК А61К 31/00, А61Р 15/00. Способ профилактики мастита у коров-реципиентов / Зубова Т.В., Смоловская О.В., **Плешков В.А.**, Гармашов С.Ю., Константинова О.Б. – № 2019139194; заявл. 03.12.2019; опубл. 22.07.2020, Бюл. № 21.

49. Патент № 2735035 С1 Российская Федерация, МПК А61D 19/00. Способ сокращения периода от отела до введения эмбрионов у коров-реципиентов / Зубова Т.В., Гармашов С.Ю., Смоловская О.В., Константинова О.Б., **Плешков В.А.** – № 2020117022; заявл. 25.05.2020; опубл. 27.10.2020, Бюл. № 30.

50. Патент № 2737552 С1 Российская Федерация, МПК С12Q 1/68. Способ оценки устойчивости к лейкозу крупного рогатого скота / Чалова Н.А., Корякина К.С., **Плешков В.А.**, Миронов А.Н. – № 2020118045; заявл. 02.06.2020; опубл. 01.12.2020, Бюл. № 34.

51. Патент № 2704270 С1 Российская Федерация, МПК А61D 19/00. Способ синхронизации эструса у коров-реципиентов при подготовке к трансплантации эмбрионов / Зубова Т.В., **Плешков В.А.**, Прохоров О.Н., Смоловская О.В., Миронов А.Н., Соломина Ю.Н. – № 2019103787; заявл. 11.02.2019; опубл. 25.10.2019, Бюл. № 30.

52. Патент № 2709176 С1 Российская Федерация, МПК А61D 19/00. Способ индукции суперовуляции по комбинированной схеме в технологии трансплантации эмбрионов / Зубова Т.В., **Плешков В.А.**, Прохоров О.Н., Смоловская О.В., Миронов А.Н., Соломина Ю.Н. – № 2019103030; заявл. 04.02.2019; опубл. 16.12.2019, Бюл. № 35.

Учебные пособия

53. **Плешков, В.А.** Технология производства молока и говядины: учебное пособие / **В.А. Плешков**, С.Н. Белова. – Кемерово, 2021. – 1 CD-ROM. – (Рег. № 0322101516 в ФГУП НТЦ «Информрегистр»). – Загл. с экрана. – Текст: электронный.

54. **Плешков, В.А.** Технология производства молока и говядины: практикум / **В.А. Плешков**, С.Н. Белова. – Кемерово, 2021. – 1 CD-ROM. – (Рег. № 0322101517 в ФГУП НТИЦ «Информрегистр»). – Загл. с экрана. – Текст: электронный.

Базы данных

55. База данных тестовых заданий «Технология производства экологически безопасной продукции животноводства»: свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2023620046 / **Плешков В.А.**; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Кузбасская ГСХА. – № 2022623770; заявл. 21.12.2022; опубл. 09.01.2023.

56. База данных тестовых заданий «Репродуктивные биотехнологии в животноводстве»: свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2022622747 / **Плешков В.А.** – № 2022622475; заявл. 12.10.2022; опубл. 03.11.2022.

57. База данных тестовых заданий «Технология производства говядины»: свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2021623119 / **Плешков В.А.** – № 2021623126; заявл. 20.12.2021; опубл. 22.12.2021.

58. База данных тестовых заданий «Технология производства молока»: свидетельство о государственной регистрации базы данных RU 2021623120 / **Плешков В.А.** – № 2021623127; заявл. 20.12.2021; опубл. 22.12.2021.

Материалы конференций, сборников научных работ и тезисов докладов

59. **Плешков, В. А.** Повышение эффективности производства молока при использовании ферментного препарата в кормлении дойных коров / **В. А. Плешков**, Г. В. Кузьмина, С. Р. Иваненко // Региональное развитие: экономика и социум: Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции, Кемерово, 11 февраля 2026 года. – Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2026. – С. 409-413.

60. **Плешков, В.А.** Оценка и учет мясной продуктивности крупного рогатого скота / **В.А. Плешков**, С.Н. Белова // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы X Национальной научно-практической конференции с международным участием. – 2023. – С. 31-35.

61. Белова, С.Н. Первичная обработка молока на животноводческих предприятиях / С.Н. Белова, **В.А. Плешков** // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 20-летию юбилею академии. – 2022. – С. 168-173.

62. Касьянов, Р.О. Современные репродуктивные биотехнологии в животноводстве / Р.О. Касьянов, О.В. Смолоская, **В.А. Плешков**, А.В. Семечкова, Е.О. Касьянов // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XXI Международной научно-практической конференции. – 2022. – С. 233-236.

63. Белова, С.Н. Первичная обработка молока на животноводческих предприятиях / С.Н. Белова, **В.А. Плешков** // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы VIII Национальной научно-практической конференции с международным участием, приуроченной к 20-летию юбилею академии. – 2022. – С. 240-246.

64. Белова, С.Н. Органолептические и физико-химические свойства молока / С.Н. Белова, **В.А. Плешков** // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы IX Национальной научно-практической конференции с международным участием. – 2022. – С. 35-39.

65. **Плешков, В.А.** Оценка качества молока-сырья / **В.А. Плешков, С.Н. Белова** // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы IX Национальной научно-практической конференции с международным участием. – 2022. – С. 57-62.

66. Белова, С.Н. Особенности систем содержания крупного рогатого скота / С.Н. Белова, **В.А. Плешков** // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы VII Национальной научно-практической конференции с международным участием. – Кемерово, 2021. – С. 258-262.

67. **Плешков, В.А.** Факторы, влияющие на качество молока / **В.А. Плешков, Т.В. Зубова** // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XX Международной научно-практической конференции. – 2021. – С. 482-485.

68. Миронов, А.Н. Влияние продолжительности сухостойного периода на молочную продуктивность коров / А.Н. Миронов, С.В. Степанян, **В.А. Плешков** // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы V Национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 114-117.

69. Миронов, А.Н. Показатели минерального обмена лактирующих коров / А.Н. Миронов, С.В. Степанян, **В.А. Плешков** // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы V Национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 118-122.

70. Миронов, А.Н. Генетически обусловленные заболевания крупного рогатого скота / А.Н. Миронов, К.С. Корякина, **В.А. Плешков, Н.А. Чалова** // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы V Национальной научно-практической конференции. – 2020. – С. 122-128.

71. Зубова, Т.В. Влияние кормовой добавки «Hendrix» на молочную продуктивность коров реципиентов / Т.В. Зубова, **В.А. Плешков, О.В. Смолдовская, А.Н. Миронов, Л.Н. Коробейникова, А.М. Коваленко** // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XIX Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 18-30.

72. **Pleshkov, V.A.** Efficiency of using probiotic preparation «Monosporin» and phytobiotic feed additive «Intebio» in feeding preweaning calves / **V.A. Pleshkov, T.V. Zubova, O.V. Smolovskaya, N.A. Chalova, A.S. Metleva, A.N. Mironov, L.N. Korobeinikova, L.V. Popova, O.B. Konstantinova, S.Y. Garmashov, K.V. Bepomestnykh, E.V. Ulrikh** // XIX International Scientific and Practical Confer-

ence «Current Trends of Agricultural Industry in Global Economy». – 2020. – P. 198-210.

73. Зубова, Т.В. Лабораторная диагностика мастита у коров / Т.В. Зубова, **В.А. Плешков**, А.В. Ткачев // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XIX Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 378-384.

74. Chalova, N.A. Hereditary determination of the leukosis virus resistance of cattle in Kuzbass / N.A. Chalova, **V.A. Pleshkov** // Modern S&T Equipments and Problems in Agriculture. – 2020. – С. 44-53.

75. Миронов, А.Н. Влияние пробиотической кормовой добавки «Бацелл М» на молочную продуктивность крупного рогатого скота / А.Н. Миронов, **В.А. Плешков**, Т.В. Зубова, А.С. Метлева // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XIX Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 45-49.

76. Genotyping of the black-and-white breed embryos by markers of dairy productivity and for the presence of genetic defects / N.A. Chalova, T.V. Zubova, **V.A. Pleshkov**, K.S. Koryakina, O.B. Konstantinova // XIX International Scientific and Practical Conference «Current Trends of Agricultural Industry in Global Economy». – 2020. – P. 71-79.

77. Миронов, А.Н. Динамика показателей белкового обмена у коров в период лактации / А.Н. Миронов, **В.А. Плешков** // Агропромышленному комплексу – новые идеи и решения: материалы XIX Внутривузовской научно-практической конференции. – 2020. – С. 99-103.

78. **Плешков, В.А.** Пробиотики в кормлении телят (обзор) / **В.А. Плешков**, О.В. Смоловская, Л.Н. Коробейникова // Современные тенденции сельскохозяйственного производства в мировой экономике: материалы XVIII Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 102-108.

79. **Плешков, В.А.** Эффективность применения пробиотиков «Моноспорин» и «Бацелл» в рационах телят / **В.А. Плешков**, О.В. Смоловская, Л.Н. Коробейникова // Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы: материалы II Национальной научно-практической конференции. – 2019. – С. 28-31.

80. Зубова, Т.В. Применение биотехнологических методов для селекции крупного рогатого скота на животноводческих предприятиях Кемеровской области / Т.В. Зубова, **В.А. Плешков**, Н.А. Чалова, О.В. Смоловская, А. Н. Миронов // Наука и профессиональное образование: национальные приоритеты и региональные драйверы развития. – 2019. – С. 31-33.

81. Корякина, К.С. Изучение особенностей распространения гена BOLA-DRB3 у крупного рогатого скота Кузбасса / К.С. Корякина, Н.А. Чалова, **В.А. Плешков** // Инновационный конвент «Образование, наука, инновации. Молодежный вклад в развитие научно-образовательного центра «Кузбасс»»: материалы Инновационного конвента. – Кемерово, 2019. – С. 337-339.

82. Чалова, Н.А. Особенности генетической структуры популяции крупного рогатого скота Кузбасса по BOLA-DRB3 / Н.А. Чалова, **В.А. Плешков**, Л.Ю. Болотова, А.Н. Миронов // Современные тенденции сельскохозяйственного про-

изводства в мировой экономике: материалы XVIII Международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 394-399.

83. **Pleshkov, V.A.** Probiotics in cattle feeding / **V.A. Pleshkov**, O.V. Smolovskaya, L.N. Korobeynikova // Современные технологии в сфере сельскохозяйственного производства и образования: материалы X Международной научно-практической конференции на иностранных языках. – 2019. – С. 53-56.

84. Biotechnology methods for cattle leukemia elimination (experience of the Kemerovo region, Russia) / T.V. Zubova, **V.A. Pleshkov**, N.A. Chalova, O.N. Prokhorov, O.V. Smolovskaya, A.N. Mironov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, Interagromash 2019. – 2019. – P. 012029.

85. Prevention and rehabilitation of dairy herd from cattle leukemia / T.V. Zubova, **V.A. Pleshkov**, N.A. Chalova, O.N. Prokhorov, O.V. Smolovskaia, E.A. Izhmulkina, A.N. Mironov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 12th International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry, Interagromash 2019. – 2019. – P. 012032.

86. Немзоров, А.М. Влияние пробиотика Бацелл-М на вес молодняка черно-пестрого скота в условиях Кемеровской области / А.М. Немзоров, Н.А. Ларина, В.Г. Прокопьев, И.И. Клименок, **В.А. Плешков** // Кормопроизводство, продуктивность, долголетие и благополучие животных: материалы международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 111-113.