

На правах рукописи

ГАЙНУТДИНОВА ЭЛЬЗА РАВИЛЕВНА

**ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПЛЕМЕННЫХ И ПРОДУКТИВНЫХ
КАЧЕСТВ КОРОВ ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ РАЗНОЙ СЕЛЕКЦИИ
ПО ГЕНАМ *GPX-1*, *PON1* И *FGF21***

4.2.5 Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Казань – 2025

Работа выполнена в Татарском научно-исследовательском институте сельского хозяйства – обособленном структурном подразделении федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» (ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН)

Научный руководитель: **Сафина Наталья Юрьевна**
кандидат биологических наук

Официальные оппоненты: **Седых Татьяна Александровна**,
доктор биологических наук, доцент,
Башкирский научно-исследовательский институт
сельского хозяйства – обособленное структурное
подразделение Федерального государственного
бюджетного научного учреждения «Уфимский
федеральный исследовательский центр» Российской
академии наук, заведующий лабораторией молекулярной
генетики и селекции животных

Калашникова Любовь Александровна,
доктор биологических наук, профессор,
Федеральное государственное бюджетное научное
учреждение «Всероссийский научно-исследовательский
институт племенного дела», заведующий лабораторией
ДНК-технологий

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Новосибирский государственный аграрный
университет», г. Новосибирск

Защита состоится «22» декабря 2025 г. в 13.00 часов на заседании диссертационного совета 99.2.128.03 при ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет», по адресу: 446442, г. Кинель, п.г.т. Усть-Кинельский, ул. Учебная 2, тел./факс (84663) 46 1 31, e-mail: ssaa@ssaa.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ФГБОУ ВО «Самарский государственный аграрный университет», на сайте университета <https://ssaa.ru> и на сайте ВАК Минобнауки РФ <https://www.vak.ed.gov.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Хакимов Исмагиль Насибуллович

1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Эффективное молочное скотоводство, направленное на получение поголовья животных, обладающего превосходным генетическим потенциалом и характеризующегося выдающимися племенными качествами, сталкивается с рядом проблем, среди которых необходимость совмещения высокой молочной продуктивности и сохранения здоровья коров. В связи с этим особую научную актуальность приобретает поиск и идентификация перспективных генов-маркеров, позволяющих объективно оценить хозяйственно-полезные признаки крупного рогатого скота в совокупности с воздействием стресс-факторов, негативного энергетического баланса и окислительного стресса.

Известно, что аллельные варианты генов глутатионпероксидазы-1 (*GPX-1*) и параоксоназы 1 (*PON1*), участвующих в антиоксидантной защите, наряду с полиморфизмом гена фактора роста фибробластов 21 (*FGF21*), отвечающего за энергетический метаболизм, представляют значительный интерес как потенциальные гены-маркеры племенных и продуктивных качеств крупного рогатого скота (S. Singh et al., 2011; P.A.S. Silveira et al., 2015; X.-M. Sun et al., 2013).

Ранее было установлено, что полиморфизм гена *GPX-1* ассоциирован с антиоксидантной защитой сосудов у человека (Т.Н. Hamanishi et al., 2004). Изучение *GPX-1* на популяциях крупного рогатого скота свидетельствует о выраженной взаимосвязи активности фермента глутатионпероксидазы-1 с фазой лактации у коров и зависимости от сезонности (G.T. Mullenbach et al., 1988; B. Pilarczyk et al., 2012). Сниженные значения содержания глутатионпероксидазы-1 в крови являются индикатором окислительного стресса в организме (A. Casado et al., 2008). Аналогичные исследования указывают на то, что существует связь между генотипами гена *GPX-1* и динамикой показателей живой массы (Г.И. Боряев и др., 1999), молочной продуктивностью и качественным составом молока (И.Ф. Горлов и др., 2006; Ш.К. Шакиров и др., 2009), а также воспроизводительной способностью крупного рогатого скота (Е.А. Белявцева, С.В. Полищук, 2017), в частности, с уровнем оплодотворяемости коров (G. Lutosławska et al., 2003). Кроме того, сообщается о косвенном влиянии глутатионпероксидазы-1 на количественное содержание соматических клеток в молоке, что делает его потенциальным маркером мастита лактирующих коров (М. Ключковский и др., 2012).

Не менее значимую роль в антиоксидантной защите играет параоксоназа 1. Имеющиеся данные свидетельствуют о ее свойствах, как антиоксиданта и детоксикатора (Э.А. Ефимцева, Т.И. Челпанова, 2012; S.P. Deakin et al., 2011). Снижение ее активности в сыворотке крови сопровождается увеличением окислительного стресса и риском развития атеросклероза у человека (M. Bionaz et al., 2007; P. Bossaert et al., 2012). Авторами *PON1* также изучался в качестве биомаркера заболеваний воспалительного характера (A. Schneider et al., 2013; H.A. Deveci et al., 2017) и колебаниями ряда биохимических показателей сыворотки крови, в том числе липидов в разные фазы лактации у высокопродуктивных коров (N.M. Taha et al., 2016; M.H. Durak et al., 2017; A.S. Farid et al., 2013; S. Abbas et al., 2020), ввиду своей способности изменять каталитическую способность и гидролитическую активность (V.H. Brophy et al., 2001).

Исследования показали наличие взаимосвязи полиморфизма гена *PON1* с продолжительностью стельности (P.A.S. Silveira et al., 2019), наступлением 1-ой овуляции (A.R.T. Krause et al., 2014) и здоровьем репродуктивной системы у коров. Имеются работы, демонстрирующие ассоциацию генотипов гена *PON1* с изменением показателей живой массы в различные возрастные периоды (A.G. Ji et al., 2008).

Полиморфизм гена *FGF21* недостаточно изучен и освещен в научной литературе. Современные исследователи характеризуют этот гепатогормон, как регулятор метаболизма в целом и энергетического баланса в частности, способный стимулировать выработку кетоновых тел, окисление липидов и поглощение глюкозы (А.М. Алиева и др., 2024; Y. Gao et al., 2023). По сообщению авторов, *FGF21* является маркером энергетического метаболизма, а также начала полового созревания нетелей, адаптации организма к изменению рациона, динамики живой массы (прироста) и молочной продуктивности (X.-M. Sun et al., 2013; L.D. Prezotto et al., 2023; A.S. Van Laere et al., 2003).

Следовательно, изучение полиморфизмов генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* особо актуально и представляет научный и практический интерес, поскольку позволяет целенаправленно выявлять животных с генетически обусловленной устойчивостью к стрессам, оптимальным метаболизмом и лучшими воспроизводительными качествами. Полученные данные открывают принципиально новые возможности для селекции высокопродуктивного поголовья, способного поддерживать продуктивность даже в условиях негативного энергетического баланса. Перспективы практического применения включают внедрение использования ДНК-маркеров в программы разведения для повышения экономической эффективности современного животноводства.

Степень разработанности темы. Современные методы молекулярной биологии и генетики дают возможность исследовать структурно-функциональные особенности генов, ассоциированных с племенной ценностью и продуктивными характеристиками крупного рогатого скота, как на видовом уровне, так и в разрезе отдельных популяций, пород, линий и других таксономических единиц. Работы по изучению полиморфизма генов антиоксидантной защиты и энергетического метаболизма у высокопродуктивных животных велись Н. Akbar et al. (2015), S. Bademkiran et al., (2007), U. Bernabucci et al. (2002, 2005), W.R. Butler (2003), B. Çaliskan and A. Çaliskan (2021), H. Chen et al. (2022), A.S. Farid et al. (2012), F.M. Hayajneh (2014), K.H. Kim and M.S. Lee (2014), J.K. Miller et al. (1993), Z. Mozduri et al. (2018), G.T. Mullenbach et al. (1998), N. Wullepitt et al. (2009) и др.

Анализом генетической структуры популяций по генам-маркерам оксидативного статуса и энергобаланса и изучением ассоциации их генетических вариантов с показателями продуктивности, воспроизводства и здоровья крупного рогатого скота занимались N.A. Castro et al. (2021), Yu. Chen (2019), H.E. Colakoglu et al. (2017a, 2017 b), K. Eder et al. (2021), R. Jagtar and S. Singh (2012), A.G. Ji et al. (2008), A. Jóźwik et al. (2004), A.R.T. Krause et al. (2014), B.M. Owen et al. (2013), B. Pilarczyk et al. (2012), G. Schlegel et al. (2013), P.A.S. Silveira et al. (2015, 2019), S. Singh et al. (2011), X.-M. Sun et al. (2013), R. Turk et al. (2017), A.T.M. Van Kneegsel et al. (2007a), J. Zhang et al. (2013) и др.

Работа выполнена в отделе физиологии, биохимии, генетики и питания животных Татарского научно-исследовательского института – обособленного структурного подразделения Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Республика Татарстан (ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН) в рамках реализации «Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период» (2012-2020 и 2021-2030 гг.), номера государственной регистрации в системе ЕГИСУ НИОКР: АААА–А18–118031390148–1 и 122011800138–7.

Цель и задачи исследования. Целью настоящего исследования являлось проведение генетической оценки племенных и продуктивных качеств коров голштинской породы разной селекции по генам-маркерам антиоксидантного статуса и энергетического баланса.

В соответствии с поставленной целью были определены задачи:

- 1) идентифицировать аллели и генотипы генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* у коров отечественной и зарубежной селекции, и дать оценку генетической структуре и параметрам генетического разнообразия исследуемых популяций;
- 2) определить молочную продуктивность коров отечественной и зарубежной селекции и установить закономерности изменчивости и взаимосвязи племенных и продуктивных качеств;
- 3) дать оценку воспроизводительной способности, а также показателям динамики живой массы коров отечественной и зарубежной селекции;
- 4) исследовать биохимические показатели сыворотки крови коров отечественной и зарубежной селекции;
- 5) оценить племенных коров отечественной селекции по комплексным классам «Элита», «Элита-рекорд», «1 класс» и «2 класс»;
- 6) рассчитать экономическую эффективность производства молока коров отечественной и зарубежной селекции.

Научная новизна исследований. Проведенное впервые в Республике Татарстан и Российской Федерации всестороннее исследование полиморфизма генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* высокопродуктивного скота молочного направления продуктивности открывает новые перспективы для селекционной работы.

В отечественных научных базах цитирования отсутствуют данные о полиморфизме генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* у крупного рогатого скота. Это позволяет предположить, что настоящее исследование проводится впервые в условиях Российской Федерации и Республики Татарстан, что определяет его научную новизну, а также теоретическую и практическую значимость.

Полученные новые сведения о маркерных генах и локусах, влияющих на формирование племенных и продуктивных признаков, идентифицированы животные с оптимальными показателями обмена веществ, устойчивые к оксидативному стрессу и негативному энергетическому балансу, способные в полной мере раскрыть генетический потенциал поголовья.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты исследования демонстрируют статистически значимое влияние полиморфизмов генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* на племенные и продуктивные качества крупного рогатого скота голштинской породы. Полученные данные вносят существенный вклад в генетическую детерминацию хозяйственно-полезных признаков, выявляя новые ассоциации между полиморфными вариантами изучаемых генов и экономически важными характеристиками животных. Практическая значимость работы подтверждается внедрением MAS-селекции в программы разведения, что позволяет целенаправленно улучшать генетический потенциал голштинского скота на научной основе.

Результаты исследования могут быть использованы для молекулярно-генетического мониторинга и целенаправленного отбора особей для разведения и племенной работы в соответствии с целевыми индикаторами хозяйств. Реализация этих подходов обеспечит повышение молочной мясной продуктивности и качества молока, стабилизирует воспроизводство, продлит период хозяйственного использования животных и повысит экономическую эффективность отрасли.

Методология и методы исследования. Методологическую основу исследования составил комплексный междисциплинарный подход, объединяющий современные методы разведения, селекции, генетики и биотехнологии сельскохозяйственных животных. В ходе лабораторных и научно-хозяйственных экспериментов применялись биологические, биохимические, иммуноферментные, зоотехнические и молекулярно-генетические методы анализа. Для обработки первичных данных и расчета количественных показателей использовались современные методы статистики и биометрии с использованием пакета Microsoft Office на ПЭВМ, обеспечивающие достоверность и объективность полученных результатов.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Перспективные генотипы генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* как генетические маркеры повышения молочной продуктивности, улучшения качества молока, его физико-химических свойств, а также закономерностей изменчивости и корреляционной зависимости племенных и продуктивных качеств;
2. Оптимальные генотипы генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* как критерий отбора животных с лучшими воспроизводительными качествами и возрастными различиями динамики живой массы;
3. Взаимосвязь полиморфизмов генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* с антиоксидантным статусом и биохимическими показателями сыворотки крови в зависимости от селекционного происхождения животных;
4. Экономическая эффективность производства молока коров с разными генотипами генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21*.

Степень достоверности и апробация результатов. Обоснованность выводов исследования и достоверность полученных результатов подтверждается комплексным применением современных молекулярно-генетических и традиционных зоотехнических методов исследования, всесторонней статистической обработкой данных с использованием актуальных биоинформационных подходов и согласованностью всех этапов лабораторных и научно-хозяйственных опытов.

Основные положения работы были представлены и получили положительную оценку на ежегодных Итоговых научных конференциях ФИЦ КазНЦ РАН (Казань, 2021-2025), Международной научно-практической конференции «Фундаментальные и прикладные решения приоритетных задач токсикологии и биотехнологии» 28 октября 2022 г. (Казань, 2022), XXV Юбилейном международном научно-практическом форуме «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, стран СНГ и BRICS» 29 ноября 2022 г. (Краснообск, 2022), XIX Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Достижения и перспективы развития АПК России» с международным участием, посвященная 300-летию РАН, где была отмечена Дипломом II степени, 5 июля 2024 г. (Казань, 2024), Международной научно-практической конференции молодых ученых «Закономерности развития региональных агропродовольственных систем» ИАГП РАН – ФИЦ СНИЦ РАН, 15-16 октября 2024 г. (Саратов, 2024), X Международной научно-практической конференции «Молодые ученые: Современный взгляд на будущее АПК» СФНЦА РАН, 25 апреля 2025 г. (Краснообск, 2025), Международной научной конференции «Приоритетные направления повышения эффективности, конкурентоспособности и устойчивости аграрной отрасли», посвященной 105-летию ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН, 10-11 июля 2025 г. (Казань, 2025).

Публикация результатов исследования. По теме диссертационной работы опубликовано 18 печатных работ, из которых 10 – в ведущих рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК Министерства образования и науки Российской Федерации (в т.ч. 6 в журналах, входящих в Белый список), и 2 – в журналах, индексируемых на международной платформе Scopus, общим объемом 37,78 п.л., доля соискателя 23,41 п.л. Разработано в соавторстве 3 способа повышения молочной продуктивности коров по генам *GPX-1*, *PON1* и *FGF21*, инновационность которых подтверждена патентами РФ на изобретение. Материалы исследований использованы в 2 справочниках по вопросам животноводства и экстерьерной оценке голштинского и голштинизированного скота, которые внедрены в учебно-образовательный процесс и используются в селекционно-племенной работе специалистами в хозяйствах Республики Татарстан.

Объем и структура работы. Диссертационная работа объемом 184 страницы компьютерного текста включает 34 таблицы и 7 рисунков, представлена следующими разделами: введение, обзор литературы, материалы и методы, результаты собственных исследований и их обсуждение, заключение, рекомендации по внедрению, перспективы дальнейшей разработки темы, список сокращений и условных обозначений, а также список литературы (состоящий из 262 источников, в том числе 177 – иностранных) и приложения.

2 ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Научно-хозяйственная часть исследований проводилась в двух сельхозпредприятиях Республики Татарстан: сельскохозяйственном производственном кооперативе «Племенной завод им. Ленина» Атнинского района (СХПК «ПЗ им. Ленина») и крестьянско-фермерском хозяйстве «Мухаметшин 3.3.» Сабинского района (КФХ «Мухаметшин 3.3.»), согласно схеме опыта, приведенной на рисунке 1.

Лабораторная часть работы выполнялась в отделе физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН (г. Казань, Республика Татарстан) в рамках реализации «Программы фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период» (2012-2020 и 2021-2030 гг.), номера государственной регистрации в системе ЕГИСУ НИОКР: АААА–А18–118031390148–1 и 122011800138–7.

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Комиссия по Биоэтике ФИЦ КазНЦ РАН рассмотрела проведенные исследования и подтвердила их соответствие этическим нормам (протокол № 11 от 13 августа 2025 г.).

Данные первичного зоотехнического, ветеринарного и племенного учета опытного поголовья получены из ИАС «СЕЛЭКС. Молочный скот w. 9.3.0.0» (ООО «РЦ Плино», Россия). Отбор проб молока проводили во время контрольных доек. Качественный состав и физико-химические свойства молока анализировали методами инфракрасной спектроскопии и проточ-

ной цитометрии на анализаторах CombiFoss™ 7 (FOSS, Дания) в лаборатории АО ГПП «Элита» Республики Татарстан.

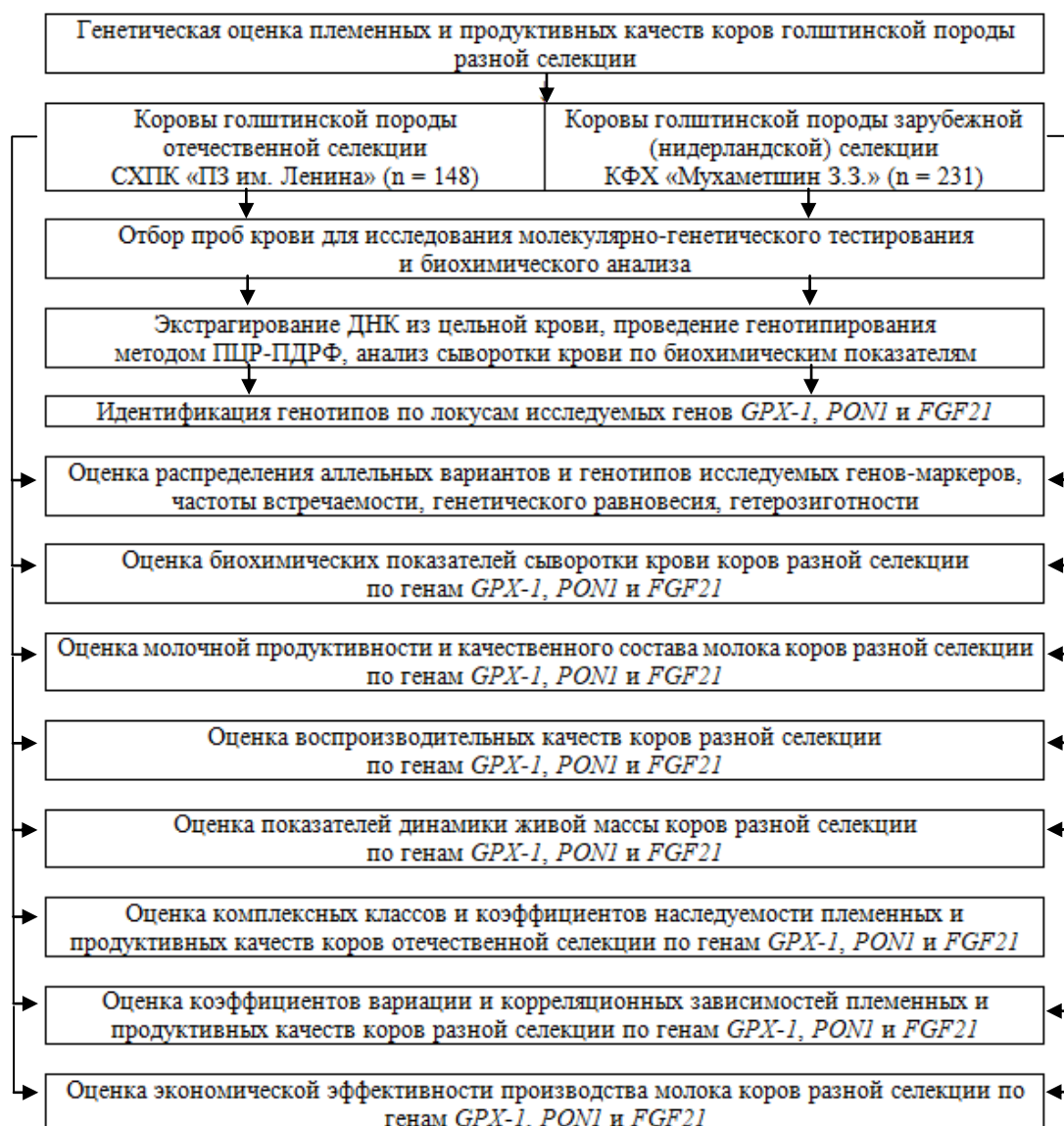


Рисунок 1 – Схема исследований

2.1.1 Порядок и условия проведения молекулярно-генетического и биохимического анализа крови коров

Генотипирование по генам *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* проводили методом ПЦР-ПДРФ. Амплификацию ДНК выполняли на термоциклерах «MyCycler» и «T100 Thermal Cycler» (BIO-RAD, США) с последующим гидролизом ПЦР-продуктов рестриктазами (табл. 1).

Таблица 1 – Праймеры и эндонуклеазы для определения SNP генов

Ген	Олигонуклеотидная последовательность праймеров	Рестриктаза	Сайт узнавания
<i>GPX-1</i> (C/T)	F:5'-GAAAAGTGCAGGTGAATGG-3' R:5'-GCTGTGGTCTGGGAAAGG-3'	<i>Bsc4 I</i>	CCNNNNN↑NNGG GGNN↓NNNNNCC
<i>PON 1</i> (A/G)	F:5'-CGGTAATCCCTGAAGAATGC-3' R:5'-GACCTCCTACCCCTGCTTTG-3'	<i>Bsc4 I</i>	CCNNNNN↑NNGG GGNN↓NNNNNCC
<i>FGF21</i> (C/T)	F:5'-CCTGGCTCATGCTGGGCGAAGGGTC-3' R:5'-CGGAGGCAGGTCCCTCCCTTAACCTCTAG-3'	<i>Xba I</i>	T↑CTAGA AGATC↓T

Полученные фрагменты разделяли электрофорезом в агарозном геле и визуализировали с помощью систем гель-документирования «Gel&Doc» (BIO RAD, США).

Биохимический анализ сыворотки крови по 13 показателям метаболизма проводили в «ВетТест» и ГБУ «Республиканская ветеринарная лаборатория» (Россия). Уровень активности GPx, PON1 и FGF21 определяли методом ИФА на анализаторе «Multiskan FC» (Thermo Scientific, США) с использованием коммерческих наборов реагентов (БиоХимМак, Россия).

На основании результатов генотипирования были сформированы опытные группы. Обработку данных проводили общепринятым методом статистического и биометрического анализа с использованием пакета MS Office на ПЭВМ, для оценки значимости использовался *t*-критерий Стьюдента для независимых выборок.

2.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

2.2.1 Оценка генетической структуры популяций коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

2.2.1.1 Полиморфизм гена *GPX-1* в популяциях коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

Методом ПЦР-ПДРФ изучен полиморфизм гена *GPX-1* у голштинского скота отечественной ($n=148$) и зарубежной ($n=231$) селекции. В обеих популяциях количественно превосходил гетерозиготный генотип ТС (60,1% и 56,7%), гомозиготы СС (20,3% и 23,0%) и ТТ (19,6% и 20,3%) представлены примерно одинаково. Частоты аллелей показали незначительное доминирование аллеля С (0,503 и 0,513). Анализ Харди-Вайнберга выявил слабое отклонение от равновесия ($\chi^2 = 6,10$ и $\chi^2 = 4,21$) в обеих популяциях.

2.2.1.2 Полиморфизм гена *PON1* в популяциях коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

Идентификация выявила в популяциях голштинского скота всех носителей генотипов гена *PON1*. В отечественной популяции распределение генотипов составило: АА – 31,8% (47 гол.), GА – 49,3% (73 гол.), GГ – 18,9% (28 гол.). В популяции зарубежной селекции: АА – 33,3% (77 гол.), GА – 49,8% (115 гол.), GГ – 16,9% (39 гол.). Частоты аллелей показали преобладание аллеля А (0,564 и 0,582). Распределение соответствовало равновесию Харди-Вайнберга ($\chi^2 = 0,01$ и $\chi^2 = 0,13$).

2.2.1.3 Полиморфизм гена *FGF21* в популяциях коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

Анализ полиморфизма гена *FGF21* выявил различия в генетической структуре популяций. В популяции отечественного скота обнаружены только гетерозиготный ТС (71,6%; 106 гол.) и гомозиготный СС (28,4%; 42 гол.) генотипы с частотами аллелей С и Т – 0,642 и 0,358 соответственно. В зарубежной популяции выявлены все три генотипа: ТС (65,8%), СС (26,0%) и ТТ (8,2%) с частотами аллелей С – 0,589 и Т – 0,411. Обе популяции демонстрируют выраженное нарушение равновесия Харди-Вайнберга ($\chi^2 = 46,06$ и $\chi^2 = 29,75$).

2.2.2 Оценка молочной продуктивности и качества молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

2.2.2.1 Оценка молочной продуктивности и качества молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *GPX-1*

Анализ выявил значимое влияние полиморфизма гена *GPX-1* на молочную продуктивность коров голштинской породы разной селекции. В отечественной популяции коровы с генотипом СС показали больший удой за полную лактацию (на 661 кг больше, чем ТТ, $p<0,01$) и наибольшую продолжительность лактации (+36,8 дн. к ТТ, $p<0,001$). Гетерозиготные ТС-особи превосходили другие генотипы по содержанию жира (на 0,10% к СС, $p<0,05$) и выходу молочного жира, а также имели наименьшее количество соматических клеток.

В зарубежной популяции ТТ-генотип ассоциирован с максимальным удоем за полную лактацию (+813,9 кг к СС, $p<0,05$), тогда как СС-генотип показал лучшие результаты по удою за 305 дней (+295,6 кг к ТТ, $p<0,05$) и жирномолочности (+0,17% к ТТ, $p<0,05$). По выходу молочного жира СС-животные достоверно превосходили другие группы (+23,6 кг к ТТ, $p<0,01$). Содержание соматических клеток было наименьшим у животных с генотипами СС и ТС.

Таблица 2 – Показатели молочной продуктивности и качества молока коров с разными генотипами гена *GPX-1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	СС (n = 30)	ТС (n = 89)	ТТ (n = 29)
Дойные дни, дн.	369,3 ± 6,3*,***	349,4 ± 5,2	332,5 ± 7,7
Удой за полную лактацию, кг	8022,5 ± 160,5**	7701,6 ± 128,3	7361,5 ± 163,8
Удой за 305 дней, кг	6806,2 ± 97,3	6742,5 ± 79,2	6731,4 ± 124,3
Массовая доля жира, %	3,69 ± 0,04	3,79 ± 0,03*	3,76 ± 0,06
Массовая доля белка, %	3,35 ± 0,04	3,39 ± 0,03	3,33 ± 0,04
Выход молочного жира, кг	251,1 ± 5,3	255,5 ± 4,8	253,1 ± 6,8
Выход молочного белка, кг	228,0 ± 6,6	228,6 ± 4,7	224,2 ± 7,2
Соматические клетки, тыс./см ³	183,3 ± 37,7	170,9 ± 59,6	393,9 ± 32,9**,***
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	СС (n = 53)	ТС (n = 131)	ТТ (n = 47)
Дойные дни, дн.	324,9 ± 5,8	348,8 ± 3,7***	352,6 ± 6,2**
Удой за полную лактацию, кг	8022,0 ± 215,4	8315,5 ± 112,1	8835,9 ± 196,5*,**
Удой за 305 дней, кг	7873,6 ± 99,1	7620,0 ± 77,4	7578,0 ± 101,1
Массовая доля жира, %	3,62 ± 0,04*,**	3,52 ± 0,03	3,45 ± 0,05
Массовая доля белка, %	3,15 ± 0,03	3,17 ± 0,02	3,23 ± 0,04
Выход молочного жира, кг	285,0 ± 5,3*,**	268,2 ± 4,2	261,4 ± 6,1
Выход молочного белка, кг	248,0 ± 3,6	241,6 ± 2,5	244,8 ± 3,9
Соматические клетки, тыс./см ³	270,3 ± 29,8	219,0 ± 18,9	312,2 ± 33,4*

Примечание: здесь и далее * - $p < 0,05$; ** - $p < 0,01$; *** - $p < 0,001$

Таким образом, полиморфизм гена *GPX-1* существенно влияет на продуктивность, причем оптимальные генотипы различаются между популяциями: СС – для признаков удоя в отечественной селекции, ТС – для качества молока, а в зарубежной – СС для стандартной лактации и жирномолочности.

2.2.2.2 Оценка молочной продуктивности и качества молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *PON1*

Исследование влияния полиморфизма гена *PON1* установило значимые различия (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели молочной продуктивности и качества молока коров с разными генотипами гена *PON1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	АА (n = 47)	GA (n = 73)	GG (n = 28)
Дойные дни, дн.	344,7 ± 10,8	336,7 ± 10,1	392,2 ± 11,0**,***
Удой за полную лактацию, кг	7527,7 ± 236,4	7077,5 ± 249,9	9502,6 ± 538,6**,***
Удой за 305 дней, кг	6715,3 ± 126,9	6369,9 ± 132,9	7740,8 ± 225,8***
Массовая доля жира, %	3,74 ± 0,06	3,78 ± 0,05	3,76 ± 0,08
Массовая доля белка, %	3,29 ± 0,04	3,35 ± 0,02	3,29 ± 0,04
Выход молочного жира, кг	251,2 ± 4,9	240,8 ± 6,1	291,1 ± 10,1***
Выход молочного белка, кг	220,9 ± 4,2	213,4 ± 4,8	254,6 ± 8,6***
Соматические клетки, тыс./см ³	249,8 ± 24,1**	259,2 ± 41,6*	141,8 ± 30,7
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	АА (n = 77)	GA (n = 115)	GG (n = 39)
Дойные дни, дн.	353,5 ± 10,1***	344,9 ± 7,6**	311,9 ± 6,6
Удой за полную лактацию, кг	8111,8 ± 370,5	8529,1 ± 219,9	8248,3 ± 406,8
Удой за 305 дней, кг	7187,8 ± 238,0	7843,2 ± 187,4*	8322,7 ± 379,2*
Массовая доля жира, %	3,74 ± 0,03*	3,60 ± 0,06	3,81 ± 0,06*
Массовая доля белка, %	3,14 ± 0,03	3,24 ± 0,03*,***	3,06 ± 0,04
Выход молочного жира, кг	268,8 ± 4,5	282,4 ± 3,7*	317,1 ± 5,1***
Выход молочного белка, кг	225,7 ± 4,4	254,1 ± 3,5***	254,7 ± 5,6***
Соматические клетки, тыс./см ³	322,9 ± 28,2***	404,1 ± 50,8***	108,1 ± 37,4

В отечественной популяции особи генотипа GG продемонстрировали максимальные показатели по удою за полную лактацию (превышение на 1974,9 кг к АА, $p < 0,01$), продолжительности лактации (+47,5 дн. к АА, $p < 0,01$), выходу молочного жира (+39,9 кг к АА, $p < 0,001$) и белка (+33,7 кг к АА, $p < 0,001$). Минимальное содержание соматических клеток также зафиксировано у GG-особей.

В зарубежной популяции животные генотипа АА отличались продолжительностью лактации (+41,6 дн. к GG, $p < 0,001$), тогда как GG-генотип показал наивысший удой за 305 дней (+1134,9 кг к АА, $p < 0,05$) и выход молочного жира (+48,3 кг к АА, $p < 0,001$). Гетерозиготные особи превосходили другие группы по содержанию белка (3,24%, +0,18% к GG, $p < 0,001$). В обеих популяциях у коров GG генотипа зафиксирован меньший показатель количества соматических клеток в молоке. Таким образом, животные с генотипом GG демонстрируют универсальное преимущество по продуктивности и качеству молока, особенно в отечественной популяции. В популяции зарубежной селекции наблюдается следующее распределение признаков: GG – для удою и жирномолочности, GA – для содержания белка.

2.2.2.3 Оценка молочной продуктивности и качества молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *FGF21*

Изучение ассоциаций генетических вариаций гена *FGF21* показало наличие взаимосвязей с признаками молочной продуктивности коров. В отечественной популяции коровы генотипа TC характеризовались высоким удоем за 305 дней (на 357,6 кг к CC, $p < 0,05$), выходом молочного жира и белка.

Таблица 4 – Показатели молочной продуктивности и качества молока коров с разными генотипами гена *FGF21*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	CC (n = 42)	TC (n = 106)	TT (n = 0)
Дойные дни, дн.	355,1 ± 4,6	348,4 ± 3,4	
Удой за полную лактацию, кг	7644,4 ± 154,8	7720,6 ± 130,6	
Удой за 305 дней, кг	6493,5 ± 116,5	6851,1 ± 127,6*	
Массовая доля жира, %	3,64 ± 0,04	3,63 ± 0,03	
Массовая доля белка, %	3,35 ± 0,03	3,34 ± 0,02	
Выход молочного жира, кг	236,4 ± 5,4	248,7 ± 4,6	
Выход молочного белка, кг	217,5 ± 3,0	228,8 ± 3,8*	
Соматические клетки, тыс./см ³	235,5 ± 43,1	197,9 ± 26,8	
КФХ «Мухометшин 3.3.»			
Показатель	CC (n = 60)	TC (n = 152)	TT (n = 49)
Дойные дни, дн.	358,0 ± 3,1***	354,2 ± 2,7***	337,1 ± 4,3
Удой за полную лактацию, кг	7483,4 ± 161,3	8212,8 ± 125,6***	8731,3 ± 158,3***
Удой за 305 дней, кг	7186,8 ± 157,6	7255,9 ± 185,2	7917,9 ± 160,1**
Массовая доля жира, %	3,36 ± 0,04	3,62 ± 0,03***	3,62 ± 0,05***
Массовая доля белка, %	3,11 ± 0,04	3,17 ± 0,03	3,16 ± 0,04
Выход молочного жира, кг	241,5 ± 4,7	262,7 ± 3,9**	286,6 ± 6,2**,***
Выход молочного белка, кг	223,5 ± 3,8	230,0 ± 2,2	250,2 ± 3,9***
Соматические клетки, тыс./см ³	394,5 ± 10,9***	412,8 ± 61,6***	119,8 ± 6,2

В зарубежной популяции особи генотипа TT демонстрировали превосходство по продуктивности: удой за полную лактацию (на 1247,9 кг к CC, $p < 0,001$), выход молочного жира (+45,1 кг к CC, $p < 0,001$) и белка (+26,7 кг к CC, $p < 0,001$). Массовая доля жира у TT и TC составила 3,62%, что достоверно выше, чем у CC (3,36%, $p < 0,001$).

Содержание соматических клеток было наименьшим у особей TC и TT-генотипа в отечественной и зарубежной популяции соответственно (197,9 и 119,8 тыс./см³).

Вышеизложенное свидетельствует о том, что аллель Т гена *FGF21* ассоциирован с высокой продуктивностью и качеством молока: ТТ-генотип оптимален для зарубежной селекции (удой, выход жира и белка), ТС-генотип – для отечественной.

2.2.3 Оценка воспроизводительных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

2.2.3.1 Оценка воспроизводительных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *GPX-1*

Анализ влияния полиморфизма гена *GPX-1* выявил противоположные тенденции в репродуктивных признаках у изучаемых популяций. В отечественной популяции первотелки генотипа ТТ проявили наилучшие показатели: минимальную продолжительность сервис-периода (на 42,8 дн. меньше к СС, $p < 0,05$), межотельного периода (на 45,6 дн. меньше к СС, $p < 0,05$), максимальный выход телят (86,8 гол.) и высокий индекс плодовитости Дохи.

Таблица 5 – Показатели воспроизводительных качеств коров разных генотипов гена *GPX-1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	СС (n = 30)	ТС (n = 89)	ТТ (n = 29)
Возраст 1 плод. осеменения, мес.	17,8 ± 0,5	17,7 ± 0,3	19,0 ± 0,6
Живая масса при 1 плод. осем., кг	413,0 ± 5,1	418,7 ± 3,0	428,4 ± 6,3
Сервис-период, дн.	154,8 ± 17,5*	132,3 ± 10,8	112,0 ± 10,9
Межотельный период, дн.	433,8 ± 18,0*	407,4 ± 11,0	388,2 ± 11,1
Выход телят на 100 гол. коров	78,9 ± 5,2	84,1 ± 3,8	86,8 ± 3,5
КВС	0,86 ± 0,04	0,93 ± 0,02*	0,96 ± 0,02*
Индекс Дохи	44,6 ± 1,4	46,5 ± 0,9	47,1 ± 0,9*
КФХ «Мухометшин 3.3.»			
Показатель	СС (n = 53)	ТС (n = 131)	ТТ (n = 47)
Возраст 1 плод. осеменения, мес.	15,6 ± 0,5	15,2 ± 0,3	15,3 ± 0,4
Живая масса при 1 плод. осем., кг	385,1 ± 3,4	380,9 ± 2,5	383,5 ± 3,3
Сервис-период, дн.	102,3 ± 5,1	111,8 ± 3,9	118,76 ± 6,2*
Межотельный период, дн.	373,4 ± 8,5	395,3 ± 6,6*	405,1 ± 11,2*
Выход телят на 100 гол. коров	92,2 ± 1,1**	88,8 ± 0,6	86,4 ± 1,7*
КВС	0,98 ± 0,04	0,92 ± 0,02	0,90 ± 0,04
Индекс Дохи	49,5 ± 0,7*	48,5 ± 0,4	47,8 ± 0,5

В зарубежной популяции генотип СС характеризовался лучшими воспроизводительными качествами: больший выход телят (на 5,8 гол. к ТТ, $p < 0,01$) и повышенный индекс Дохи (на 1,8 ед. к ТТ, $p < 0,05$). При этом первотелки генотипа ТТ имел наибольшую продолжительность сервис-периода и межотельного периода.

Таким образом, полиморфизм гена *GPX-1* оказывает противоположное влияние на репродуктивные качества в разных популяциях: ТТ-генотип оптимален для отечественной селекции, тогда как СС-генотип предпочтителен в популяции зарубежной селекции. Животные с генотипом ТС занимали промежуточные позиции.

2.2.3.2 Оценка воспроизводительных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *PON1*

Анализ влияния полиморфизма гена *PON1* выявил значимые межпопуляционные различия в признаках воспроизводительной способности коров. В отечественной популяции гетерозиготные GA-особи показали наилучшие результаты: минимальный возраст первого осеменения, максимальный выход телят (83,5 гол.; +17,4 гол. к GG, $p < 0,001$), высокий индекс Дохи (56,2 ед.; +3,9 к GG, $p < 0,05$) и кратчайший сервис-период (112,0 дн.).

В зарубежной популяции гомозиготный GG-генотип животных характеризовался преимуществом по коэффициенту воспроизводительной способности (0,98 п.п.; +0,11 к AA, $p < 0,001$), ин-

дексу Дохи (52,3 ед.; +2,45 к АА, $p < 0,01$) при наибольшем выходе телят (99,1 гол.). При этом в обеих популяциях GG-генотип ассоциирован с удлиненными репродуктивными периодами.

Таблица 6 – Показатели воспроизводительных качеств коров разных генотипов гена *PON1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	АА (n = 47)	GA (n = 73)	GG (n = 28)
Возраст 1 плод. осеменения, мес.	17,8 ± 0,5	17,1 ± 0,3	17,8 ± 0,6
Живая масса при 1 плод. осем., кг	422,6 ± 3,6*	413,1 ± 3,2	420,3 ± 6,6
Сервис-период, дн.	125,4 ± 10,9	122,0 ± 10,8	171,5 ± 18,1*
Межотельный период, дн.	404,7 ± 11,1	395,7 ± 11,1	448,3 ± 22,1*
Выход телят на 100 гол. коров	84,1 ± 2,1	85,3 ± 1,9***	67,9 ± 3,0
КВС	0,86 ± 0,04	0,92 ± 0,02	0,81 ± 0,06
Индекс Дохи	46,2 ± 1,0	47,5 ± 0,8**	43,3 ± 1,8
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	АА (n = 77)	GA (n = 115)	GG (n = 39)
Возраст 1 плод. осеменения, мес.	15,4 ± 0,4	15,1 ± 0,3	15,9 ± 0,5
Живая масса при 1 плод. осем., кг	381,5 ± 2,5	382,2 ± 2,8	384,5 ± 3,9
Сервис-период, дн.	122,7 ± 10,0***	112,5 ± 7,4***	82,2 ± 6,1
Межотельный период, дн.	401,3 ± 10,5***	394,4 ± 8,1***	357,0 ± 6,5
Выход телят на 100 гол. коров	85,0 ± 2,2	88,6 ± 1,9***	99,2 ± 2,8**,***
КВС	0,91 ± 0,02	0,93 ± 0,01	1,02 ± 0,02***
Индекс Дохи	48,9 ± 0,5	49,6 ± 0,3	51,3 ± 0,7***

Все вышеизложенное указывает на то, что полиморфизм гена *PON1* оказывает различное влияние в разрезе генетической принадлежности популяций: гетерозиготный GA-генотип оптимален для скота отечественной селекции, тогда как гомозиготный GG-генотип предпочтителен в зарубежной популяции.

2.2.3.3 Оценка воспроизводительных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *FGF21*

Оценка параметров фертильности первотелок разных генотипов представлена в таблице 7.

Таблица 7 – Показатели воспроизводительных качеств коров разных генотипов гена *FGF21*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	СС (n = 42)	ТС (n = 106)	ТТ (n = 0)
Возраст 1 плод. осеменения, мес.	17,4 ± 0,4	18,3 ± 0,2*	
Живая масса при 1 плод. осем., кг	420,5 ± 5,1	422,3 ± 2,7	
Сервис-период, дн.	134,6 ± 16,5	132,4 ± 8,7	
Межотельный период, дн.	411,8 ± 16,5	408,0 ± 8,9	
Выход телят на 100 гол. коров	80,8 ± 3,1	81,6 ± 2,8	
КВС	0,89 ± 0,03	0,90 ± 0,02	
Индекс Дохи	46,1 ± 1,0	46,4 ± 0,6	
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	СС (n = 60)	ТС (n = 152)	ТТ (n = 49)
Возраст 1 плод. осеменения, мес.	16,0 ± 0,5	15,0 ± 0,3	16,1 ± 0,5*
Живая масса при 1 плод. осем., кг	392,8 ± 3,8**,***	379,3 ± 2,1	384,8 ± 4,7
Сервис-период, дн.	116,2 ± 7,3	107,8 ± 5,8	123,5 ± 10,7
Межотельный период, дн.	402,2 ± 13,4	386, ± 6,2	405,6 ± 21,6
Выход телят на 100 гол. коров	87,3 ± 2,0	90,2 ± 1,4	84,7 ± 3,1
КВС	0,91 ± 0,03	0,94 ± 0,01	0,90 ± 0,05
Индекс Дохи	39,2 ± 0,5	41,3 ± 0,30*,***	38,9 ± 0,9

Поиск ассоциаций полиморфизмов гена *FGF21* с воспроизводительными качествами выявил умеренные межпопуляционные различия. В отечественной популяции животные генотипа СС имеют более ранний возраст первого плодотворного осеменения (на 0,9 мес. к ТС, $p<0,05$). Ключевые репродуктивные показатели (выход телят, КВС, индекс Дохи) не имели статистически значимых различий, демонстрируя лишь тенденцию в пользу генотипа ТС.

В зарубежной популяции особи, имеющие ТС-генотип, показали преимущество по следующим репродуктивным признакам: более ранний возраст первого осеменения (на 1,1 мес. к ТТ, $p<0,05$), наивысший индекс Дохи (на 2,4 ед. к ТТ, $p<0,05$). Первотелки генотипа ТТ характеризовались максимальной живой массой при первом отеле (на 24,3 кг к СС, $p<0,01$) и удлиненным сервис-периодом (123,5 дн.; +7,2 дн. к СС, $p<0,05$).

Таким образом, полиморфизм гена *FGF21* оказывает умеренное влияние на репродуктивные качества. В отечественной популяции статистически значимые различия ограничены возрастом первого осеменения (СС). В зарубежной селекции ТС-генотип ассоциирован с лучшими расчетными репродуктивными показателями.

2.2.4 Оценка динамики живой массы коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

2.2.4.1 Оценка динамики живой массы коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *GPX 1*

Исследование выявило выраженную зависимость динамики живой массы от генотипа и популяции. В популяции отечественной селекции гетерозиготные животные (ТС) имели наивысшую живую массу к 18 мес. (422,5 кг) и лидировали по среднесуточному приросту на старте (0-6 мес.: 780,0 г) и в целом за период (0-18 мес.: 723,7 г). Однако на последнем этапе (12-18 мес.) максимальный прирост продемонстрировали животные, имеющие генотип ТТ (597,2 г/сут).

В то же время, в поголовье скота зарубежной селекции абсолютное превосходство по конечной массе в 18 мес. принадлежало гомозиготам ТТ (468,5 кг). Они же показали рекордный среднесуточный прирост живой массы на заключительном этапе откорма (12-18 мес.: 792,2 г), что значительно превышает показатели других генотипов.

Из вышеизложенного следует, что наиболее оптимальный для селекции генотип определяется конкретными условиями содержания и кормления, а также возрастным периодом. Эффект генотипа сильно варьирует в зависимости от возрастного периода и конкретной популяции, что требует адаптации селекционных программ под конкретный генофонд.

2.2.4.2 Оценка динамики живой массы коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *PON1*

Анализ влияния генотипов гена *PON1* на динамику и прирост живой массы выявил значительные различия между признаками. В отечественной популяции статистически значимых различий не установлено, однако особи с гетерозиготным генотипом GA демонстрировали преимущество по массе в 6, 12 и 18 мес. (превышая AA на 4,3 кг в 18 мес.) и показали наивысший средний прирост живой массы за весь период (790,0 г/сут от 0 до 6 мес.).

В зарубежной популяции преимущество животных с генотипом GA было статистически достоверным и существенным на всех этапах. В 18 мес. они достоверно превосходили животных с генотипом GG на 38,6 кг (8.2%, $p<0,001$), а по абсолютному приросту от 0 до 12 мес. – на 14,9 кг (82,8 г/сут, $p<0,001$). Особи с генотипом GG устойчиво показывали наихудшие результаты.

Таким образом, гетерозиготный генотип GA по гену *PON1* является наиболее предпочтительным для селекции, демонстрируя стабильно высокие показатели, при этом его эффект выражен значительно сильнее в популяции зарубежной селекции.

2.2.4.3 Оценка динамики живой массы коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *FGF21*

Детальное изучение показателей живой массы выявило противоположные тенденции в двух популяциях. В популяции отечественного скота наилучшие показатели по живой массе и приросту в большинстве возрастных периодов демонстрировали животные с генотипом СС. Их

абсолютный прирост в периоды 0-6 и 6-12 мес. был выше, чем у гетерозиготных сверстниц (ТС), на 2,3 кг (1,6%) и 1,7 кг (1,2%) соответственно.

В поголовье зарубежной селекции явное лидерство закрепилось за носителями генотипов ТТ и ТС. Особи с генотипом ТТ показали наивысшую живую массу в 6, 12 и 18 мес., а также достоверно больший абсолютный прирост от 6 до 12 мес. (на 8,1 кг на 4,8% выше, чем у СС, $p < 0,001$). Гетерозиготы ТС имели максимальный абсолютный прирост от 0 до 6 мес., значительно превышая показатель группы СС на 6.5 кг (4.9%, $p < 0.05$). Животные генотипа СС выгодно отличались приростом в период 12-18 мес.

Следовательно, эффект генотипа гена *FGF21* не является автономным и кардинально зависит от генетического фона популяции и условий хозяйства.

2.2.5 Оценка биохимических показателей сыворотки крови коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

2.2.5.1 Оценка биохимических показателей сыворотки крови коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *GPX-1*

Анализ биохимического статуса голштинского скота выявил значимые ассоциации полиморфизма гена *GPX-1*. Во всех случаях максимальной активностью глутатионпероксидазы (GPx) достоверно характеризовались животные с генотипом СС, демонстрируя преимущество над ТТ (на 8,7%) и ТС (на 6,3%). У высокопродуктивных коров отечественной селекции общий уровень GPx был выше, чем у зарубежных, и наблюдалась обратная зависимость между активностью GPx и концентрацией глюкозы.

Характер влияния генотипов гена *GPX-1* на ключевые показатели обмена веществ (общий белок, холестерол, активность АСТ, АЛТ) оказался разнонаправленным в отечественной и зарубежной популяциях. Активность печеночных ферментов в обеих генетических группах снижалась в тенденции СС > ТС > ТТ.

Исходя из этого, следует, что полиморфизм гена *GPX-1* оказывает существенное влияние на антиоксидантную защиту и биохимический статус, однако характер этого влияния значительно варьирует в зависимости от генетической популяции.

2.2.5.2 Оценка биохимических показателей сыворотки крови коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *PON1*

Оценка биохимических показателей и метаболического статуса коров в разрезе гена *PON1* установила, что наибольшая активность параоксоназы 1 была достоверно связана с генотипом GG, превышая показатели AA на 17,1% в популяции отечественного скота и GA на 18,6% ($p < 0,05$) в зарубежной популяции. Это указывает на работу антиоксидантной системы организма высокопродуктивных коров. Установлена прямая зависимость между уровнем *PON1* и концентрацией альбуминов.

У отечественных животных генотип GG ассоциировался с повышенным уровнем мочевины (на 12,9% выше AA), активности АСТ и АЛТ (на 25,7% и 9,0% выше GA), , холестерола (на 14,8% выше AA) и триглицеридов (на 30,0% выше AA). В зарубежной популяции животные генотипа AA имели максимальные значения общего белка (на 9,2% выше GG) и холестерола (на 42,7% выше GG) в сыворотке крови.

Таким образом, полиморфизм гена *PON1* существенно влияет на биохимический статус, но характер влияния варьирует в зависимости от генетической популяции, что необходимо учитывать при оценке метаболических процессов в организме и селекции.

2.2.5.3 Оценка биохимических показателей сыворотки крови коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену *FGF21*

Исследование выявило достоверное влияние полиморфизма гена *FGF21* на метаболический статус и энергетический баланс крупного рогатого скота. У животных с генотипом СС концентрация *FGF21* была значительно выше (на 28,2–34,0%; $p < 0,001$), что свидетельствует о повышенной метаболической нагрузке и склонности к энергодефициту. Для этого генотипа также характерны повышенные уровни холестерола, триглицеридов, активности амилазы и щелочной фосфатазы.

Напротив, носители аллеля Т (генотипы ТТ и ТС) демонстрировали признаки более сбалансированного метаболизма: достоверно более высокое содержание общего белка и альбуминов, а также сниженные уровни мочевины и активности ферментов АСТ и АЛТ. Гетерозиготный генотип ТС занимал промежуточное положение по большинству показателей.

Из вышеизложенного следует, что полиморфизм гена *FGF21* существенно влияет на обмен веществ. Генотип СС ассоциирован с повышенным риском метаболического стресса, тогда как аллель Т связан с эффективностью биохимических процессов и может служить благоприятным маркером при селекции на устойчивость к энергодифициту.

2.2.6 Оценка изменчивости и корреляционной зависимости племенных и продуктивных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

В обеих популяциях генотип СС гена *GPX-1* обеспечивает наиболее стабильное проявление продуктивных признаков ($C_v < 7,83$ и $9,14$) у коров, демонстрируя при этом умеренный антагонизм между удоем и содержанием жира в молоке (r от $-0,25$ до $-0,31$).

Генотип GG гена *PON1* ассоциирован со средней вариабельностью удоя ($C_v = 12,95-15,62$), но обуславливает наиболее сильную отрицательную взаимосвязь между удоем и качеством молока в зарубежной популяции (r до $-0,42$), тогда как в отечественной этот коэффициент выражен слабее (r до $-0,25$).

В зарубежной популяции животные генотипа ТТ гена *FGF21* характеризуются стабильными продуктивными показателями (C_v удоя = $14,15$), и у них ослаблена отрицательная связь между удоем и качественным составом молока ($r = -0,18$), что является благоприятным фактором для селекции. В отечественном поголовье аналогичные преимущества показывает генотип ТС.

2.2.7 Оценка коров голштинской породы отечественной селекции по комплексному классу

2.2.7.1 Оценка коров голштинской породы отечественной селекции по гену *GPX-1* по комплексному классу

Оценка экстерьера выявила взаимосвязь с генотипом по гену *GPX-1*. Наибольшая доля животных высшего класса «Элита-рекорд» (67%) отмечена у коров с генотипом СС. Гомозиготные по аллелю Т животные (ТТ) демонстрируют сбалансированное распределение: 61% «Элита-рекорд» и отсутствие особей 2-го класса. Гетерозиготный генотип (ТС) имеет наименьшую долю «рекордисток» (50%) и наибольший процент коров 2-го класса (7%). Таким образом, генотип СС ассоциирован с наилучшими показателями экстерьера.

2.2.7.2 Оценка коров голштинской породы отечественной селекции по гену *PON1* по комплексному классу

Анализ распределения комплексных классов экстерьера в зависимости от генотипа по гену *PON1* выявил выраженные различия. Наилучшие показатели характерны для гомозиготного генотипа АА: наибольшая доля животных высшего класса «Элита-рекорд» (70%) и минимальное количество особей низшего 2-го класса (2%). Гетерозиготный генотип GA демонстрирует наименьшую долю «рекордисток» (46%) и наибольший суммарный процент животных низших категорий (1-й и 2-й классы составляют 28%). Генотип GG занимает промежуточное положение по доле высшего класса (56%), но характеризуется наибольшим количеством особей 2-го класса (7%) среди всех групп. Таким образом, генотип АА ассоциирован с наиболее благоприятными показателями экстерьера.

2.2.7.3 Оценка коров голштинской породы отечественной селекции по гену *FGF21* по комплексному классу

Анализ экстерьера выявил сходную частоту высшего класса «Элита-рекорд» (56%) у коров с генотипами СС и ТС по гену *FGF21*. Однако гетерозиготные особи (ТС) демонстрируют структурное преимущество за счёт большей доли класса «Элита» (24%) и сокращения суммарной доли низших классов (1-й и 2-й). Таким образом, генотип ТС ассоциирован с наиболее сбалансированными и улучшенными показателями комплексной оценки экстерьера.

2.2.8 Экономическая эффективность производства молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

Расчеты показали, что при равной рентабельности (25,4% - в поголовье скота отечественной селекции и 34,0% - в зарубежной) генотип коров напрямую влияет на прибыль. В СХПК «ПЗ им. Ленина» гетерозиготные ТС-животные по гену *GPX-1* показали прибыль 68,02 тыс. руб., незначительно превысив показатель гомозигот СС и ТТ на 1,7 и 1,0%. В КФХ «Мухаметшин 3.3.» особи с генотипом СС были прибыльнее, чем ТТ-тип на 9,0 % (+9,02 тыс. руб.) и ТС-тип на 6,3% (+6,42 тыс. руб.). Наибольший доход от коров генотипа GG гена *PON1* в отечественной популяции составил 77,47 тыс. руб., что на 15,9 % (10,62 тыс. руб.) и 20,9 % (13,38 тыс. руб.) выше, чем от носителей генотипов АА и GА, тогда как у зарубежного скота результативность от особей с генотипом GG (121,24 тыс. руб.) была выше, чем от животных-гетерозигот GА на 12,3% (13,28 тыс. руб.) и АА на 18,0% (18,45 тыс. руб.). В племенном хозяйстве от коров с генотипом ТС по гену *FGF21* доход был на 3,29 тыс. руб. (или на 5,2%) выше, чем от коров с генотипом СС. В условиях товарной фермы генотип ТТ показал наилучший результат – 109,59 тыс. руб., что на 18,7% (17,26 тыс. руб.) и 9,1% (9,16 тыс. руб.) выше, чем у животных с генотипами СС и ТС.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- 1) В двух опытных популяциях идентифицированы сбалансированные частоты аллелей Т/С и G/А генов *GPX-1* и *PON1* с преобладанием гетерозигот (ТС – 60,1 и 56,7 %; GА – 49,3 и 49,8 %). По гену *FGF21* обнаружены значительные отклонения от равновесия Харди-Вайнберга, преобладание гетерозигот (ТС – 71,6 и 65,8 %) и отсутствие носителей генотипа ТТ в поголовье отечественного скота;
- 2) Наилучшая молочная продуктивность у коров отечественной и зарубежной селекции ассоциирована с генотипами СС гена *GPX-1* (удой за 305 дн. – 6806,2 и 7873,6 кг), GG гена *PON1* (удой за 305 дн. – 7740,8 и 8322,7 кг; сумма жира и белка – 545,7 и 571,8 кг) и ТС/ТТ гена *FGF21* (удой за 305 дн. 6851,1 и 7917,9 кг). При этом ключевым селекционным преимуществом животных генотипа СС гена *GPX-1* является наименьшая изменчивость удоя ($C_v < 7,83-9,14$). Наиболее сбалансированное соотношение между удоем и составом молока, характеризующееся слабой отрицательной связью ($r = -0,18...-0,19$), зафиксировано у животных с генотипом ТТ гена *FGF21*. В то же время, носители генотипа GG гена *PON1* демонстрируют отрицательный корреляционный антагонизм между содержанием жира и белка в молоке ($r = -0,25...-0,42$) и средний уровень вариабельности удоя ($C_v = 12,95-15,62$);
- 3) Оценка воспроизводительной способности установила, что для отечественного скота оптимальными являются генотипы ТТ гена *GPX-1* и GА гена *PON1*, обеспечивающие выход телят 86,6 и 85,3 гол. на 100 коров, коэффициент воспроизводительной способности – 0,96 и 0,92 и индекс Дохи – 47,1 и 47,5 ед. соответственно. В то же время, у зарубежного скота преимущество по этим показателям демонстрируют особи с генотипами СС гена *GPX-1* и GG гена *PON1*, с выходом телят 92,2 и 99,2 гол., КВС – 0,98 и 1,02 и индексом Дохи – 49,5 и 51,3 ед. соответственно. По динамике живой массы выявлена возраст-зависимая смена лидирующих генотипов генов *GPX-1* и *FGF21* в процессе роста, тогда как по гену *PON1* на всех этапах онтогенеза достоверное преимущество ($p < 0,001$) сохранялось за генотипом GА;
- 4) Исследование биохимических показателей сыворотки крови коров обеих популяций показало, что животные генотипа СС гена *GPX-1* обладают высокой концентрацией глутатионпероксидазы-1 (0,312 и 0,293 Ед./л), коровы с генотипом GG гена *PON1* – максимальной активностью параоксоназы 1 (195,9 и 179,9 Ед./л) что свидетельствует о сбалансированном антиоксидантном статусе и эффективной защите организма от окислительного стресса конкретным ферментом, а группы с генотипами СС гена *FGF21* – увеличенным уровнем фермента FGF21 (587,3 и 487,3 пг/л), что может указывать на склонность к энергодефициту у этих особей. Также установлены генетические и межпопуляционные различия в белковом, липидном и минеральном обмене;
- 5) Среди племенных коров отечественной селекции, оцененных по комплексным классам, имеющих генотип СС гена *GPX-1*, зафиксировано максимальное количество животных класса «Элита-рекорд» (67,0%), а для генотипа АА гена *PON1* этот показатель достиг 70,0% (при увеличе-

нии доли гетерозигот GA в 1-м и 2-м классах до 22,0 и 6,0 % соответственно), тогда как у генотипов CC и TC гена *FGF21* наблюдалась одинаковая частота коров класса «Элита-рекорд» (56,0%), но ТС-особи демонстрировали сбалансированное распределение по другим классам;

б) При одинаковой рентабельности продаж молока коров отечественной и зарубежной селекции (25,40 и 34,01 %) анализ общей прибыли выявил наиболее эффективные генетические группы животных: по гену *GPX-1* – с генотипом TT (с разницей 1,0–1,7 %) в отечественной популяции и CC (с разницей 6,3–9,0 %) – в зарубежной, по гену *PON1* – с генотипом GG в обоих хозяйствах (15,9–20,0 % и 12,3–18,0 %), по гену *FGF21* – с генотипом TC (5,2%) в отечественном и TT (9,1–18,7 %) в зарубежном поголовье скота.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

В селекционно-племенной работе рекомендуется использовать маркерную селекцию на основе генотипов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* для улучшения продуктивных и воспроизводительных качеств голштинского скота. Особое внимание следует уделять коровам с генотипами CC (*GPX-1*), GG (*PON1*) и TC/TT (*FGF21*) как потенциально наиболее продуктивным.

Целесообразно проводить мониторинг здоровья животных: регулярный биохимический анализ крови для своевременного выявления метаболических нарушений, энергодефицита и окислительного стресса.

Необходимо оптимизировать кормление, особенно для высокопродуктивных коров в ранний период лактации, склонных к энергодефициту, следует разрабатывать рационы с повышенным содержанием специальных энергетических кормовых добавок, а для животных, подверженных стрессу, – с антиоксидантами различной природы.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Расширение исследований. Изучение влияния других генов-кандидатов антиоксидантной защиты и энергетического баланса на продуктивность и здоровье дойных коров, а так же крупного рогатого скота других половозрастных и физиологических групп (телята, сухостойные коровы, быки-производители и др.). Анализ взаимодействия между генотипами и факторами окружающей среды (кормление, условия содержания).

Разработка генетических тестов. Создание коммерческих тест-систем для определения генотипов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* у крупного рогатого скота.

Практическое применение. Разработка рекомендаций по формированию поголовья с оптимальным сочетанием генотипов позволит не только достичь целевых показателей продуктивности, но и минимизировать риски, связанные с окислительным стрессом и негативным энергетическим балансом, что открывает перспективы дальнейших исследований в области повышения устойчивости и долголетия высокопродуктивных животных.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ:

1. Гайнутдинова, Э.Р. Полиморфизм гена параоксоназа-1 (*PON1*) и его ассоциации с хозяйственно-полезными признаками голштинского скота / Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров, Э.Р. Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15, № 3(59). – С. 43-48.
2. Гайнутдинова, Э.Р. Идентификация полиморфизма гена *FGF21* в татарстанской популяции крупного рогатого скота голштинской породы / Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров, Э.Р. Гайнутдинова, Ф.Ф. Зиннатова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2020. – Т. 242, № 2. – С. 149-152.
3. Гайнутдинова, Э.Р. ДНК-тестирование полиморфизма гена *GPX-1* крупного рогатого скота / Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров, Э.Р. Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова // Молочное и мясное скотоводство. – 2020. – № 7. – С. 37-40.
4. Гайнутдинова, Э.Р. Воспроизводительные качества голштинского скота с разными генотипами гена глутатионпероксидазы-1 (*GPX-1*) / Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шаки-

ров // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2020. – Т. 244, № 4. – С. 65-68.

5. Гайнутдинова, Э.Р. Влияние полиморфизма гена PON1 на уровень параоксоназы-1 и биохимические показатели сыворотки крови крупного рогатого скота голштинской породы / Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров, Э.Р. Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова // Аграрный научный журнал. – 2022. – № 8. – С. 61-65.

6. Гайнутдинова, Э.Р. Влияние полиморфизма гена FGF21 (g. 940 C/T) на биохимические показатели в сыворотке крови крупного рогатого скота голштинской породы / Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров, Э.Р. Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова // Международный вестник ветеринарии. – 2022. – № 4. – С. 314-321.

7. Гайнутдинова, Э.Р. Генетическая структура популяций голштинского скота отечественной и зарубежной селекции по гену GPX-1 / Э.Р. Гайнутдинова, Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, З.Ф. Фаттахова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2023. – Т. 253, № 1. – С. 54-57.

8. Гайнутдинова, Э.Р. Ассоциация полиморфизма гена GPX-1 с показателями воспроизводства крупного рогатого скота / Э.Р. Гайнутдинова // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 9. – С. 92-96.

9. Гайнутдинова, Э.Р. Биохимический статус и продуктивные качества коров голштинской породы зарубежной селекции разных генотипов гена PON1 / Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 4. – С. 49-56.

10. Гайнутдинова, Э.Р. Молочная продуктивность и качественный состав молока коров с разными генотипами гена GPX-1 / Э.Р. Гайнутдинова // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2025. – Т. 261, № 1. – С. 58-63.

Публикации в сборниках научных трудов и материалах конференций:

Gaynutdinova, E. Dairy productivity of Holstein cattle with different genotypes of the paraoxonase-1 (PON1) gene / N. Safina, Sh. Shakirov, E. Gaynutdinova, Z. Fattakhova // E3S Web of Conferences. 2021. – V. 282. – P. 02007. (*БД Scopus*)

11. Гайнутдинова, Э.Р. Идентификация полиморфизма гена параоксаназа (PON 1) в популяции голштинского крупного рогатого скота / Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина // Фундаментальные и прикладные решения приоритетных задач токсикологии и биотехнологии: Сборник тезисов выступлений участников Международной научно-практической конференции, Казань, 28 октября 2022 г. – Казань: «Альянс», 2022. – С. 37-39.

12. Gaynutdinova, E. Polymorphism of the glutathioneperoxidase-1 gene (GPX-1 g. 189 T/C) and biochemical parameters of the blood serum of Holstein cattle / N. Safina, Sh. Shakirov, E. Gaynutdinova, E. Mukhanina, E. Krupin, T. Akhmetov, Z. Fattakhova, L. Zagidullin, N. Chevtaeva, L. Shayakhmetova // E3s web of conferences. – 2023. – V. 462. – P. 01018. (*БД Scopus*)

13. Гайнутдинова, Э.Р. ДНК-тестирование полиморфизма гена FGF21-ХВА I крупного рогатого скота / Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров, З.Ф. Фаттахова // Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, стран СНГ и BRICS: Сборник научных докладов XXV юбилейного международного научно-практического форума, Краснообск, 29 ноября 2022 г. – Краснообск: Агронаука, 2023. – С. 203-204.

14. Гайнутдинова, Э.Р. Влияние полиморфизма гена PON1 на динамику живой массы голштинского скота / Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина // Достижения и перспективы развития АПК России: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых с международным участием, посвященной 300-летию РАН, Казань, 05 июля 2024 года. – Казань: АН РТ, 2024. – С. 120-122.

15. Гайнутдинова, Э.Р. Оценка молочной продуктивности коров разных генотипов гена FGF21 отечественной и зарубежной селекции / Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем. – 2024. – № 1. – С. 53-56.

16. Гайнутдинова, Э. Р. Динамика живой массы голштинского скота отечественной и зарубежной селекции разных генотипов гена FGF21 / Э.Р. Гайнутдинова // Молодые ученые: Со-

временный взгляд на будущее АПК: Сборник X международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 25 апреля 2025 г. – Новосибирск: Агронаука, 2025. – С. 159-163.

17. Гайнутдинова, Э.Р. Ассоциация полиморфизма гена GPX-1 с показателями живой массы голштинского скота разной селекции / Э.Р. Гайнутдинова, Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Е.Н. Муханина // Молодые ученые: Современный взгляд на будущее АП: Сборник X международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 25 апреля 2025 г. – Новосибирск: Агронаука, 2025. – С. 163-168.

Патенты на изобретения и справочные издания:

1. Патент РФ № 2774372 С1 МПК А23К 10/10. Способ повышения продуктивности дойных коров различных генотипов гена GPX-1 / Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Э.Р. Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова // Оpubл. 20.06.2022 . Бюл. № 17.

2. Патент РФ № 2775569 С1 МПК А23К 10/00. Способ повышения продуктивности дойных коров различных генотипов гена PON1 / Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Р.М. Ахмадуллин, А.Г. Ахмадуллина, Э.Р.Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова / Оpubл. 04.07.2022. Бюл. № 19.

3. Патент РФ № 2812476 С1 МПК С12Q 1/00, А23К 50/10. Способ повышения продуктивности дойных коров различных генотипов гена FGF21 / Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Р.М. Ахмадуллин, А.Г. Ахмадуллина, Э.Р. Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова, Е.Н. Муханина, Н.Д. Чевтаева // Оpubл. 30.01.2024 Бюл. № 4.

4. Современные технологии в кормопроизводстве и животноводстве, проблемы и пути их решения (500 вопросов и ответов): справочник / Ш.К. Шакиров, О.Л. Шайтанов, М.А. Сушенцова, М.Л. Калайда, Е.О. Крупин, Н.Ю. Сафина, Ф.Ф. Зиннатова, З.Ф. Фаттахова, Р.П. Ибатуллина, А.Н. Муньков, Р.И. Михайлова, Ф.К. Ахметзянова, Д.Д. Хайруллин, Р.И. Хашимов, Е.Н. Муханина, И.Т. Бикчантаев, Н.Д. Чевтаева, Э.Р. Гайнутдинова – 4-е издание, доработанное и дополненное. – Казань: Академия наук РТ, 2023. – 416 с. – ISBN 978-5-9690-1188-5.

5. Оценка экстерьера голштинской породы и голштинизированного крупного рогатого скота / З.Ф. Фаттахова, Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Э.Р. Гайнутдинова, Р.М. Низамов, Е.О. Крупин, И.Т. Бикчантаев, Н.Д. Чевтаева, М. Хоггуи, Г.Х. Халилова. – Казань: Издательство «Логос-Пресс», 2022. – 44 с. – ISBN 978-5-00205-036-9.

