

**ТАТАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА – ОБОСОБЛЕННОЕ СТРУКТУРНОЕ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КАЗАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»**

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:
кандидат биологических наук
Сафина Наталья Юрьевна

Казань – 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	5
1	ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	13
1.1	Племенные и продуктивные качества молочного скота: фенотипические и генетические аспекты.....	13
1.2	Стресс-факторы в молочном животноводстве.....	16
1.3	Негативный энергетический баланс у высокопродуктивных коров и его влияние на племенные и продуктивные качества.....	18
1.4	Окислительный стресс и антиоксиданты в организме лактирующих коров.....	23
1.4.1	Характеристика гена глутатионпероксидаза-1 (<i>GPX-1</i>) и его ассоциации с племенными и продуктивными качествами коров.....	27
1.4.2	Характеристика гена параоксоназа 1 (<i>PONI</i>) и его ассоциации с племенными и продуктивными качествами коров.....	30
1.4.3	Характеристика гена фактор роста фибробластов 21 (<i>FGF21</i>) и его ассоциации с племенными и продуктивными качествами коров.....	34
2	СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	39
2.1	Материалы и методы исследований.....	39
2.1.1	Характеристика хозяйств и опытных популяций коров.....	41
2.1.2	Материально-техническое оснащение лаборатории.....	43
2.1.3	Порядок и условия проведения молекулярно-генетического и биохимического анализа сыворотки крови коров.....	44
2.1.4	Обработка первичных данных.....	49
2.2	Результаты исследований и их обсуждение.....	52
2.2.1	Оценка генетической структуры популяций коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	52
2.2.1.1	Полиморфизм гена <i>GPX-1</i> в популяциях коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	52

2.2.1.2	Полиморфизм гена <i>PON1</i> в популяциях коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	54
2.2.1.3	Полиморфизм гена <i>FGF21</i> в популяциях коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	56
2.2.2	Оценка молочной продуктивности и качества молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	58
2.2.2.1	Оценка молочной продуктивности и качества молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>GPX-1</i>	58
2.2.2.2	Оценка молочной продуктивности и качества молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>PON1</i>	64
2.2.2.3	Оценка молочной продуктивности и качества молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>FGF21</i>	70
2.2.3	Оценка воспроизводительных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	76
2.2.3.1	Оценка воспроизводительных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>GPX-1</i>	76
2.2.3.2	Оценка воспроизводительных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>PON1</i>	80
2.2.3.3	Оценка воспроизводительных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>FGF21</i>	83
2.2.4	Оценка динамики живой массы коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	86
2.2.4.1	Оценка динамики живой массы коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>GPX-1</i>	86
2.2.4.2	Оценка динамики живой массы коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>PON1</i>	90

2.2.4.3	Оценка динамики живой массы коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>FGF21</i>	93
2.2.5	Оценка биохимических показателей сыворотки крови коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	95
2.2.5.1	Оценка биохимических показателей сыворотки крови коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>GPX-1</i>	96
2.2.5.2	Оценка биохимических показателей сыворотки крови коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>PON1</i>	102
2.2.5.3	Оценка биохимических показателей сыворотки крови коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции по гену <i>FGF21</i>	108
2.2.6	Оценка изменчивости и корреляционной зависимости племенных и продуктивных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	116
2.2.6.1	Оценка изменчивости племенных и продуктивных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	116
2.2.6.2	Оценка корреляционной зависимости племенных и продуктивных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	119
2.2.7	Оценка коров голштинской породы отечественной селекции по комплексному классу и вариативности наследования племенных качеств.....	123
2.2.7.1	Оценка коров голштинской породы отечественной селекции по гену <i>GPX-1</i> по комплексному классу.....	123
2.2.7.2	Оценка коров голштинской породы отечественной селекции по гену <i>PON1</i> по комплексному классу.....	125
2.2.7.3	Оценка коров голштинской породы отечественной селекции <i>FGF21</i> по комплексному классу.....	126

2.2.7.4	Анализ вариативности наследуемости племенных качеств коров голштинской породы отечественной селекции.....	127
2.2.8	Экономическая эффективность производства молока коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции.....	130
3	ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	133
	ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ.....	136
	ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ.....	137
	СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ.....	138
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	140
	ПРИЛОЖЕНИЯ.....	171

ВВЕДЕНИЕ

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; В. Pilarczyk et al., 2012). Сниженные значения содержания глутатионпероксидазы-1 в крови являются индикатором окислительного стресса в организме (А. 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. Клечковский 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 (приросты) 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. Józwiak 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 Федеральное государственное бюджетное учреждение 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 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 биоинформатических 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 СЦ 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, индексированных 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.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Племенные и продуктивные качества молочного скота: фенотипические и генетические аспекты

В современном молочном скотоводстве особое значение приобретает дифференциация между племенными и продуктивными качествами сельскохозяйственных животных. Эти две группы характеристик, хотя и тесно взаимосвязаны, выполняют принципиально разные функции в селекционной работе и практическом животноводстве. Понимание их различий и взаимодействия имеет ключевое значение для разработки эффективных программ разведения и содержания высокопродуктивных стад (L.V. Holodova et al., 2020; F. Zinnatov et al., 2024).

Племенные качества представляют собой комплекс показателей, определяющих ценность животного для воспроизводства и улучшения генетического потенциала стада. К ним относятся, прежде всего, показатели экстерьера и конституции животного, такие как крепость конечностей, правильное строение вымени, глубина грудной клетки и общая гармоничность телосложения (З.Ф. Фаттахова и др., 2025). Эти морфологические особенности непосредственно влияют на продуктивное долголетие и устойчивость животных к стресс-факторам. Важное значение имеют также наследственные признаки устойчивости к заболеваниям (например, маститу). Особое место в оценке племенных качеств занимают показатели воспроизводительной способности: регулярность половых циклов, оплодотворяемость, интервалы между отелами (В.М. Юдин и др., 2023). В современной селекционной практике все большее распространение получает маркерная селекция на основе анализа отдельных SNP (однонуклеотидных полиморфизмов), позволяющая выявлять животных с желательными генотипами генов, ассоциированных с хозяйственно-полезными признаками (Р.Р. Шайдуллин и др., 2023; С.В. Тюлькин, 2018; Н.Ю. Сафина и др., 2019).

Продуктивные качества, в отличие от племенных, ориентированы на непосредственную финансовую результативность и включают показатели молочной или мясной продуктивности. Для молочного скота ключевыми параметрами являются величина удоя за лактацию, содержание массовой доли жира и белка в молоке, а также эффективность конверсии корма в молочную продукцию (Ш.К. Шакиров и др., 2023). Эти показатели напрямую определяют коммерческую целесообразность (выгоду) производства, однако их изолированное улучшение без учета племенных характеристик может привести к негативным последствиям для общего состояния стада. Маркерная селекция обеспечивает точную идентификацию особей с благоприятными аллелями генов, связанных с продуктивностью (N. Safina et al., 2024; Ю.Р. Юльметьева и др., 2015; Р.Р. Шайдуллин, А.С. Ганиев, 2024).

Принципиальное различие между племенными и продуктивными качествами заключается в их целевом назначении. Если племенные качества ориентированы на долгосрочное улучшение генетического потенциала популяции, то продуктивные – на увеличение текущей экономической отдачи. Это различие определяет и методы оценки: для племенных животных применяется комплексный анализ множества параметров с использованием геномной оценки племенной ценности и маркерной селекции, тогда как в товарных стадах часто ограничиваются контролем основных продуктивных показателей (Н.А. Зиновьева, 2007). Однако современная селекционная наука демонстрирует, что наиболее эффективной стратегией является сбалансированный учет как племенных, так и продуктивных характеристик (З.А. Кадзаева, 2014; Л.В. Холодова, 2023).

Взаимосвязь между племенными и продуктивными качествами формирует сложную систему, параметры которой изменяются под влиянием физиологических, генетических и управленческих факторов. Высокая продуктивность не всегда коррелирует с хорошими племенными признаками. Например, коровы-рекордистки по удою могут иметь недостатки экстерьера или проблемы с воспроизводством, что делает их малопригодными для племенного

использования. Обратная ситуация также возможна: животные с выдающимися племенными качествами могут показывать среднюю продуктивность (Rebezov M.B., 2022;). Такая диспропорция объясняется тем, что максимальная продуктивность часто достигается за счет перенапряжения физиологических систем организма, что сокращает срок хозяйственного использования животных и ухудшает их воспроизводительные функции (В.П. Кононов, 2013). Своевременное ДНК-тестирование по генам-маркерам, ассоциированным как с продуктивными, так и с племенными характеристиками, помогает выявлять таких животных на ранних этапах развития (Е.К. Хлесткина, 2013; Л.А. Калашникова и др., 2015).

Современные подходы к селекции демонстрируют необходимость баланса между этими группами качеств. Поэтому в маркерной селекции важно учитывать комплекс генетических маркеров, связанных как с продуктивностью, так и с показателями здоровья и воспроизводства (Н.Ю. Сафина и др., 2018, 2025; M. Szewczuk et al., 2013).

Практическое применение этих принципов в животноводстве имеет выраженную специализацию. В племенных хозяйствах анализ SNP-маркеров позволяет проводить ранний отбор животных по комплексу признаков. В товарных стадах маркерная селекция может использоваться для выявления носителей нежелательных аллелей или для отбора по ключевым продуктивным признакам, что позволяет оптимизировать селекционный процесс (Н.А. Зиновьева и др., 2008).

Товарные фермы, ориентированные на производство молока, могут фокусироваться, в первую очередь, на продуктивных качествах, однако полное игнорирование племенных характеристик неизбежно приводит к постепенной деградации стада. Наиболее перспективной стратегией представляется сочетание интенсивного использования высокопродуктивных животных в товарных стадах с систематическим обновлением генетического материала за счет племенного ядра (М.А. Федорова, 2020).

Особого внимания заслуживает вопрос включения показателей продуктивности в оценку племенных качеств. Такие характеристики, как удой или содержание жира в молоке, безусловно, имеют наследственную природу и

поэтому учитываются в племенной оценке. Однако их значение не является абсолютным, так как максимальная продуктивность может достигаться за счет эксплуатационных нагрузок, несовместимых с длительным хозяйственным использованием. Поэтому в современных племенных индексах продуктивные показатели составляют лишь часть общей оценки, которая включает также параметры здоровья, воспроизводства и долголетия (K.J. Shokirov et al., 2021).

Таким образом, эффективное управление качеством поголовья требует понимания как различий между племенными и продуктивными качествами, так и их взаимосвязи. Оптимальная программа разведения должна основываться на комплексном подходе, учитывающем как текущую экономическую эффективность, так и долгосрочные перспективы генетического улучшения стада. Дальнейшее изучение ассоциаций между генетическими полиморфизмами генов-маркеров и хозяйственно-полезными признаками крупного рогатого скота позволит еще точнее балансировать эти две группы характеристик, обеспечивая устойчивое развитие отрасли.

1.2 Стресс-факторы в молочном животноводстве

В последнее время в скотоводстве остро встал вопрос о стрессе как о ключевой проблеме, с которой сталкивается современная отрасль молочного животноводства. Стресс представляет собой длительную защитную реакцию организма на воздействие различных внешних раздражителей, приводящих к нарушению гомеостаза и сопровождающихся сложными нейрогормональными перестройками (И.В. Киреев, 2020). При нарушении гомеостаза окислительные процессы в организме приводят к окислительному стрессу, негативно влияющему на племенные и продуктивные качества и наносящему большой экономический ущерб скотоводству. В современном понимании стрессовое состояние у животных – это внешнее событие или состояние, которое усиливает нагрузку на биологическую систему. Реакция животных на него связана с расходом энергии для уменьшения и нейтрализации воздействия стресса на организм

млекопитающих (R.J. Collier et al., 2017). В настоящее время стрессовые факторы являются неотъемлемыми элементами в системе содержания и разведения крупного рогатого скота в сельхозпредприятиях различного уровня организации (И.В. Киреев, В.А. Оробец, 2017).

Производственный шум, машинное доение, незнакомые животные и люди, экстремальные температуры и условия содержания, несбалансированное кормление или лишение корма и воды, вакцинация, интоксикация при применении некачественных кормов, использование антибиотиков – это стресс-факторы, которым ежедневно подвергаются животные (Э. Хелари, 2012; Л.В. Шилкина, 2007; L.N. Edwards-Callaway, M.S Calvo-Lorenzo, 2020). Перемещение и транспортировка молочного скота также оказывают значительное стрессовое воздействие на их физиологическое состояние (И.В. Киреев, В.А. Оробец, 2017).

Тепловой стресс является одним из факторов окружающей среды, который наиболее сильно влияет на молочную промышленность, негативное воздействие которого отрицательно сказывается на продуктивности, иммунных реакциях и репродуктивной функции животных (P.A. Lendez et al., 2021; C. Li et al., 2019).

Некоторые исследователи указывают на то, что воздействие теплового стресса на молочный скот вызывает окислительный стресс, который может привести к цитотоксичности (U. Vernabucci et al., 2002). Кроме того, окислительный стресс, физиологическая реакция на тепловой стресс, провоцируется у молочного скота ферментами, связанными с метаболизмом кислорода (S. Chen et al., 2018). Окислительный стресс при энергетическом дефиците возникает вследствие активации β -окисления жирных кислот с генерацией активных форм кислорода на фоне недостаточности антиоксидантных систем, обусловленной ограниченной доступностью энергетических субстратов. Данный процесс потенцирует дальнейшие нарушения клеточного метаболизма, формируя самоподдерживающийся патологический цикл.

Под влиянием этих стресс-факторов происходит повышение нагрузки на функциональные способности организма, приводящее к нарушениям физиолого-биохимических процессов и заболеваниям алиментарного характера (N. Safina et

al., 2023), что, в свою очередь, отражается на племенных и продуктивных качествах стада (Н.Ю. Сафина и др., 2025).

Таким образом, внедрение научно обоснованных методов управления стрессом может способствовать сохранению здоровья поголовья, улучшению племенных показателей и, как следствие, повышению рентабельности молочного животноводства, а комплексный подход к изучению и снижению влияния стресс-факторов является необходимым условием для устойчивого развития отрасли.

1.3 Негативный энергетический баланс у высокопродуктивных коров и его влияние на племенные и продуктивные качества

Интенсификация селекции молочного скота с отбором по строгим критериям высокой молочной продуктивности привела к тому, что животные стали более подвержены метаболическим расстройствам (M. Shahzad et al., 2024), способных вызывать дисфункцию отдельных органов или систем. Под нарушением обменных процессов понимают патологические состояния, возникающие вследствие сбоев в регуляции концентрации специфических метаболитов в биологических жидкостях. Обмен веществ представляет собой сумму физических, химических и метаболических процессов, участвующих в поглощении, расщеплении и синтезе основных органических молекул в организме. Во время метаболической активности выделяются многочисленные продукты обмена, которые либо используются в качестве строительных блоков, либо распадаются и выводятся из организма. Питательные вещества преобразуются в энергию, которую клетки, органы, системы и весь организм используют для обычных функций. Метаболические процессы охватывают всю совокупность биохимических реакций, необходимых для поддержания жизнедеятельности организма (Н. Thomas, 2013). Особенностью метаболизма лактирующих коров является приоритетное использование глюкозы молочной железой - до 85% всего запаса глюкозы крови направляется на синтез лактозы, что создает дефицит источников энергии для других тканей (А.А. Евглевский, 2017а).

Отрицательный, или негативный, энергетический баланс (НЭБ, NEB – negative energy balance) – это измененное метаболическое состояние у высокопродуктивных коров, преимущественно молочного направления продуктивности. Отрицательный энергетический баланс у высокопродуктивных коров представляет собой комплексное нарушение обмена веществ, возникающее в результате дисбаланса между поступлением энергии с кормом и её расходом на физиологические процессы. Это состояние развивается преимущественно в ранний период лактации и обусловлено рядом взаимосвязанных физиологических и биохимических механизмов (W. Xu et al., 2020), когда энергетические затраты для продуцирования молока и поддержания лактации превышают потребность в энергии. В качестве компенсаторного механизма крупный рогатый скот начинает мобилизовать жировые запасы для удовлетворения расходов в энергии на жизненно важные функции организма (Z. Mozduri et al., 2018; A.T.M. Van Knegsel et al., 2007a; J. Patton et al., 2006). Такое состояние наблюдается у новотельных коров в начале лактации, в связи с быстро растущими потребностями в энергии, которые мобилизуют энергетические резервы организма (Thomas H., 2000).

Метаболические нарушения могут возникать из-за дефектных биохимических путей, дефицита ферментов, коферментов или кофакторов и могут быть как унаследованными, так и приобретенными. Это значительно отражается на благополучии и здоровье, а также влияет на продуктивность крупного рогатого, что снижает финансовую результативность животноводческой отрасли.

Основной физиологической предпосылкой развития энергетического дефицита является разобщенность физиологических процессов. Пик молочной продуктивности, достигаемый на 6–8 неделе лактации, опережает максимальное потребление корма, которое наблюдается лишь к 10–12 неделе (В.А. Мищенко и др., 2019). В транзитный период количество сухого вещества, потребляемого коровами, может быть снижено до 40%, а их потребности в питании могут значительно увеличиться – до трех раз для глюкозы и в два раза для аминокислот (M. Mezzetti et al., 2021).

Повышенная потребность в питательных веществах для сохранения лактации на высоком уровне в новотельный период, отсутствие аппетита и дефицит энергии у коров приводят к отрицательному энергетическому балансу (Е.А. Козина, Т.А. Полева, 2012; В.М. Кузнецов, 2022).

Отрицательный энергетический баланс заставляет коров подключать энергетические резервы, главным образом, из жировой ткани, а также мышечный белок. На биохимическом уровне отрицательный энергетический баланс проявляется активацией альтернативных путей энергообеспечения. Интенсификация липолиза приводит к накоплению неэтерифицированных жирных кислот (НЭЖК), которые в гепатоцитах подвергаются либо β -окислению с образованием АТФ, либо трансформируются в кетоновые тела при недостатке оксалоацетата (И.А. Шкуратова и др., 2022). Развивающийся кетоз сопровождается нарушением функций печени, проявляющийся жировой инфильтрацией гепатоцитов и снижением их детоксикационной способности (J.K. Drackley, 1999; M.M. McCarthy et al., 2015; А. Штарке, 2015).

Отрицательный энергетический баланс также приводит к изменению овариального цикла, снижению фертильности и сбою репродуктивной функции, влекущие за собой низкие показатели оплодотворяемости, зачатия и высокую эмбриональную смертность (M. McCabe et al., 2012).

После отела дойные высокопродуктивные коровы испытывают стрессовую нагрузку, так как значительная часть питательных веществ, полученных из корма, идет на синтез молока (M. McCabe et al., 2012; S.D. McCarthy et al., 2010). В это время происходит глубокая перестройка энергетического метаболизма, обеспечивающая транспортирование питательных веществ (из корма и тканевых резервов) на поддержание лактогенеза, что вызывает отрицательный энергетический баланс (С.Е. Moore et al., 2005).

Важным адаптационным механизмом является активация глюконеогенеза, основными субстратами для которого служат пропионат, образующийся при рубцовом пищеварении, глицерин из липидного обмена и глюкогенные аминокислоты. Параллельно развивается физиологическая инсулинорезистентность,

направленная на сохранение глюкозы для нужд лактации (Y. Song et al., 2023; В.Д. Конвай, М.В. Заболотных, 2017).

Это вызывает характерные метаболические сдвиги: снижение глюкозы и инсулина в плазме, увеличение неэтирифицированных жирных кислот (НЭЖК), которые могут полностью окисляться в печени для получения энергии (Н.А. Garverick et al., 2013). Когда запас глюкозы недостаточен и в печени отсутствует оксалоацетат, частичное или неполное окисление NEFA приводит к образованию и накоплению кетоновых тел (β - гидроскисмасляная кислота, ацетон, ацетоацетат) и отложение триглицеридов в печени, вызывая кетоз (А.Т.М. Van Knegsel et al., 2007b; J. Gross et al., 2011).

За последние несколько десятилетий прогресс в увеличении объемов производства молока посредством генетического отбора стал причиной снижения фертильности коров, так как, зачастую молочная продуктивность находится в обратной зависимости с воспроизводительными качествами, и это стало серьезной проблемой для сельхозтоваропроизводителей (Э.Р.Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина, 2020; M.G. Diskin, D.G. Morris, 2008; M.C. Lucy, 2007; Н.Ю. Сафина и др., 2023). Период стельности (вынашивание плода) и отел – энергетически затратные процессы, и измененное метаболическое состояние, как было установлено, одна из основных физиологических причин снижения дальнейшей воспроизводительной способности у высокопродуктивного молочного скота (W.R. Butler, 2003; А.Т.М. Van Knegsel et al., 2007a; J. Patton et al., 2006). Следовательно, снижение концентрации глюкозы и повышение уровня кетоновых тел приводят к снижению функции яичников. Нарушенное развитие фолликулов и низкое качество ооцитов ухудшают показатели оплодотворения. Увеличение количества этих метаболитов в фолликулах ставит под угрозу жизнеспособность клеток гранулезы (А. Sharma et al., 2019; V.R. Yenuganti et al., 2016), функциональную компетентность ооцитов (M.L. Sutton-Mcdowall et al., 2016; V. Van Hoesck et al., 2013), качество эмбрионов и последующую способность к воспроизводству у коров (V. Van Hoesck et al., 2011; T. Vanholder et al., 2005), что

влечет за собой значительные экономические потери (M.J. de Vries, R.F. Veerkamp, 2000; A.W. Bell, 1995).

Увеличение концентрации НЭЖК приводит к увеличению продукции активных форм кислорода (АФК, ROS – Reactive oxygen species) и окислительному стрессу в различных типах клеток (A. Abuelo et al., 2014; M. Bionaz et al., 2007; L.M. Sordillo, W. Raphael, 2013), провоцируя окислительный стресс. Кроме того, увеличение продукции АФК и окислительного стресса было связано со снижением концентрации аминокислот и истощением антиоксидантной защиты (E. Fiore et al., 2023; A. Lisuzzo et al., 2022a; A. Lisuzzo et al., 2022b).

Следовательно, клиническими последствиями отрицательного энергетического баланса становятся метаболические нарушения (кетоз, жировая дистрофия печени), снижение продуктивности и репродуктивной функции, а далее послеродовой парез, гипокальциемия, а также повышение восприимчивости к инфекционным заболеваниям, включая метрит и мастит (M.E. Kehrli et al., 1989; G. Vobe, 2004; J.K. Drackley et al., 2005; А.А. Евглевский, 2017b; E.A. Horst et al., 2021; D. Lv et al., 2022; G. Esposito et al., 2014, 2020;). Эффективное предотвращение нарушений обменных функций в организме у молочного скота требует комплексного подхода, включающего изучение их этиопатогенеза, разработку систем ранней диагностики и внедрение предупредительных мер. Особое значение приобретает мониторинг физиологического статуса животных через ключевые биохимические маркеры (холестерол, триглицериды, АСТ, АЛТ, β -НВ, глюкоза и др.), позволяющий прогнозировать риски развития патологий. Перспективным направлением является селекция на устойчивость к метаболическим стрессам с использованием молекулярно-генетических маркеров, связанных с энергетическим обменом (Н.Ю. Сафина и др., 2022a, 2022b; N. Safina et al., 2023; D. Kang et al., 2025).

Для профилактики этих состояний рекомендуется оптимизация кормового рациона по энергетической и протеиновой ценности, контроль упитанности животных, мониторинг показателей обмена веществ и создание оптимальных условий содержания. Комплексный подход к решению проблемы отрицательного

энергетического баланса позволяет минимизировать его негативные последствия и поддерживать высокую продуктивность стада. Совершенствование методов прогнозирования и предотвращения способно существенно снизить финансовые убытки при одновременном повышении продуктивного долголетия животных.

1.4 Окислительный стресс и антиоксиданты в организме лактирующих коров

Окислительный стресс является острой проблемой в области ветеринарии и зоотехнии, так как является триггером множества заболеваний. На сегодняшний день исследователи уделяют особое внимание изучению окислительных реакций, протекающих в организме животных, и антиоксидантного статуса, негативно влияющих на здоровье и продуктивность молочного скота, как в период стельности, так и на протяжении лактации (А. Abuelo et al., 2019; P.F. Surai et al., 2019). В условиях современных технологий молочного производства поддержание сбалансированных физиологических реакций, обеспечивающих динамическое равновесие организма животных, является ключевым фактором их благополучия, продуктивности, репродуктивной функции и реализации генетического потенциала. Наряду с энергетическим балансом, окислительно-восстановительный статус играет центральную роль в метаболизме, регулируя стабильность протекания множества физиологических процессов (И.В. Киреев, В.А. Оробец, 2017).

Сегодня окислительный стресс считается метаболическим нарушением, поражающим системы органов, что негативно сказывается не только на состоянии здоровья животных, но и на качестве получаемых продуктов скотоводческой отрасли, таких как молоко и мясо (С. Castillo et al., 2005, 2006). У высокопродуктивных коров окислительные процессы могут вызывать воспаление молочной железы (мастит), способствующих снижению надоев и неблагоприятным изменениям в качественном составе молока, например, спаду содержания массовой доли жира, казеиновых белков и кальция при

одновременном повышении концентрации сывороточных белков, мочевины, натрия и хлора (A. Jóźwik et al., 2012). Большое количество доказательств свидетельствует о том, что окислительный стресс и митохондриальная дисфункция молочной железы тесно связаны с лактацией. Например, окислительный стресс может привести к субклиническому воспалению молочной железы, что увеличивает частоту возникновения мастита, одновременно снижая продуктивность и качество молока (A. Jóźwik et al., 2004). Окислительное повреждение зависит от стадии лактации, кормления, заболевания и сезонных колебаний (H.E. Colakoglu et al., 2017a, 2017b).

Окислительный стресс провоцирует сбой функций физиологических систем организма, что, в свою очередь, ведет к ухудшению состояния здоровья лактирующих коров (S. Salman et al., 2009), а также играет ключевую роль в возникновении или прогрессировании многих заболеваний.

Дойные коровы подвергаются окислительному стрессу в транзитный период (A. Abuelo et al., 2013), когда они переходят от поздних сроков стельности, за 3 недели до отела и к началу лактации. Переходный период, то есть от 3 недель до отела и 3 недели после него, является трудным моментом для дойных коров, поскольку они более восприимчивы ко многим заболеваниям. Высокопродуктивные животные в этот промежуток времени сталкиваются с рядом проблем: метаболический стресс, воспалительные заболевания с частыми и тяжелыми последствиями, изменения белкового и липидного обмена и т.п. (A. Moolchandani, M.A. Sareen, 2018; L.M. Sordillo et al., 2009b; J.W. Spears, W.P. Weiss, 2008; E. Trevisi et al., 2012). Этот период характеризуется пятью критическими событиями: снижением иммунной компетентности; отрицательным энергетическим балансом, приводящим к мобилизации жировой и мышечной тканей; гипокальциемией вследствие потребности молочной железы в синтезе молока; явной системной воспалительной реакцией во время отела и окислительным стрессом из-за увеличения производства прооксидантных молекул (E. Trevisi, A. Minuti, 2018).

Окислительный стресс является основным фактором нарушения регуляции воспалительных реакций (L.M. Sordillo, S.L. Aitken, 2008). У отелившихся коров окислительный стресс связан с задержкой выхода последа после отела, отеком вымени, маститом, увеличением количества соматических клеток в молоке, что может косвенно влиять на физиологические, иммунные и воспроизводительные функции (A. Jóźwik et al. 2012; J. Xiao et al., 2021), снижается плодовитость, увеличивается эмбриональная смертность, послеродовая задержка плаценты, провоцируются ранние отелы (A.G. De La Riva et al., 2023). Это подтверждается наблюдениями, проведенных на коровах больных маститом, у которых реакция на воспалительное состояние и иммунный ответ организма приводят к гибели эмбриона (P.J. Hansen et al., 2004).

Распространенные заболевания включают стеатоз и кетоз печени, связанные с нарушением обмена веществ, а также метрит (G. Esposito et al., 2014; J. Шлек, 2017). Болезни на этом этапе влияют не только на самочувствие животных, но и наносят серьезный экономический ущерб на молочных фермах, поскольку, помимо затрат на лечение, коровы не достигнут своей максимальной молочной продуктивности и в полной мере не раскроют свой генетический потенциал (A. Abuelo et al., 2014).

Антиоксиданты – это соединения, предотвращающие и/или устраняющие окислительный стресс в биологических системах (B. Çaliskan, A. Çaliskan, 2021). Они оказывают влияние на экспрессию генов, задействованных в антиоксидантном статусе, что может улучшить состояние здоровья, продуктивные и воспроизводительные качества животных (H.V. Petit, 2009; N. Puvaca et al., 2018; R. Turk et al., 2017). Наиболее важными биологическими антиоксидантами являются витамины А, С, Е и селен (Se) – ключевой компонент глутатионпероксидазы (F.M. Nayajneh, 2014). Противодействие окислительному стрессу является одной из ключевых функций селена (L. He et al., 2021).

Антиоксиданты могут действовать как доноры электронов для свободных радикалов и, таким образом, играть важную роль в предотвращении развития окислительного стресса. С другой стороны, они могут устранить повреждения,

вызванные активными формами кислорода, помочь восстановить структуру и функцию клеток (H. Sies et al., 1985).

Управление внутриклеточными ферментативными антиоксидантами происходит под влиянием, как балансирования (корректирования) рациона, так и генетического контроля. В период усиления образования активных форм кислорода (АФК) в момент гипероксии и гипоксии наблюдается повышение уровня ферментов антиоксидантной системы внутри клеток. По мнению Л.Т. Рязанцевой, это связано с механизмами, поддерживающими устойчивость организма к окислительному стрессу (Л.Т. Рязанцева, 2011). Динамика уровня содержания липидов и их фракции в мембранах клеток организма в частности и в плазме крови в целом нормализуется посредством воздействия антиоксидантов.

Супероксиддисмутаза (SOD), каталаза (CAT), глутатион (GSH), глутатионпероксидаза (GPx) и антиоксидантные витамины А, Е и С являются основными компонентами антиоксидантной системы эритроцитов. Синергетическое и кооперативное взаимодействие этих антиоксидантов основано на последовательном устранении перекисей и свободных радикалов, а также на взаимной защите ферментов (D. Das et al., 2022, Н.Ю. Сафина, 2025).

Таким образом, применение научно обоснованных стратегий по укреплению антиоксидантного статуса высокопродуктивных коров способствует повышению устойчивости организма животных к окислительному стрессу, улучшению их продуктивных показателей и, как следствие, увеличению рентабельности производства.

1.4.1 Характеристика гена глутатионпероксидаза-1 (*GPX-1*) и его ассоциации с племенными и продуктивными качествами коров

Глутатионпероксидаза (GPx) представляет собой белок, содержащий селенистеин, который выполняет ключевую функцию в защите клеток от окислительного стресса (M. Kankofer et al., 2010). Глутатионпероксидаза выступает мощным антиоксидантом и, образует в организме основную антиоксидантную ферментную систему, действует как защитник клеток от окислительного повреждения (A.L. Miranda-Vilela et al., 2010), восстанавливая перекись водорода до воды и гидроперекиси липидов до спиртов (J.E. Rowntree et al., 2004).

Глутатионпероксидаза (GPx), являясь селенозависимым ферментом, обеспечивает биологическую фиксацию селена в организме, включая его в активный центр в форме селенистеина. Этот процесс критически важен для реализации антиоксидантной функции фермента, катализирующего восстановление перекисей до нетоксичных гидроксильных соединений (O.A. Levander, P.D. Wranger, 1996). Клеточная глутатионпероксидаза (GPx) является одной из нескольких пероксидаз млекопитающих, восстанавливающей перекись водорода и липиды, используя глутатион (GSH) в качестве восстановителя (D. Behne, A. Kyriakopoulos, 2001), и отвечает за поддержание целостности основных биомолекул. Глутатионпероксидаза-1 экспрессируется повсеместно и локализуется преимущественно в цитозоле.

Этот фермент выполняет регуляторную функцию в процессе разрушения АФК, ограничивая их контакт с оксидом азота (NO) и переходными металлами (Cu, Fe), что препятствует образованию внутриклеточных окислительных агентов (П.А. Матейкович, 2016; D. Behne, A. Kyriakopoulos, 2001). При окислительном стрессе у высокопродуктивных коров селен-зависимая GPx обеспечивает детоксикацию липопероксидов, где атом Se в активном центре участвует, непосредственно, в электронном транспорте. Проведенные исследования на людях, птицах и животных показывают, что GSH (восстановленный глутатион) истощается при физической нагрузке (S. Singh et al., 2011). Эксперименты,

проводимые отечественными учеными в разные годы, свидетельствуют о влиянии селена на изменение живой массы (Г.И. Боряев и др., 1999; И.Т. Бикчантаев, Ш.К. Шакиров, 2010), молочную продуктивность и качественный состав молока (И.Ф. Горлов и др., 2006; Ш.К. Шакиров и др., 2009), а также воспроизводительные качества крупного рогатого скота (Е.А. Белявцева, С.В. Полищук, 2017).

При высоких удоях коров восстановительной способности антиоксидантной системы может оказаться недостаточной, что особенно заметно при дефиците селена. Обеспеченность организма этим элементом является основным фактором, регулирующим активность глутатионпероксидазы и других селенопротеинов, участвующих во многих метаболических процессах (L. Flohé et al., 2000; V.N. Gladyshev et al., 2001; M.P. Rayman, 2000). По данным В. Pilarczyk и соавт. (2012) у голштинского скота активность фермента GPx снижается с наступлением сухостойного периода и увеличивается в разгар лактации. Наивысший уровень концентрации GPx в сыворотке крови отмечается в начале лактации у первотелок (В. Pilarczyk et al., 2012). У коров, находящихся в транзитном периоде, наблюдаются резкие изменения в энергетическом метаболизме, иммунной системе и окислительно-восстановительном балансе (А. Sundrum, 2015). Эти нарушения могут повлиять на здоровье и оплодотворяемость дойных коров (G. Lutosławska et al., 2003). Исследования ученых указывают на спад уровня глутатионпероксидазы-1 в два раза у коров больных маститом в отличие от здоровых животных (Н. Soltani et al., 2020; S. Andrei et al., 2011; В.А. Mir et al., 2017; Н.Е. Colakoglu et al., 2017b). Имеются данные о вариабельности активности GPx в зависимости от сезона: в летнее время она повышается, а в зимний период – падает (S. Soren et al., 2018; G.T. Mullenbach et al., 1988). Сниженные значения содержания глутатионпероксидазы-1 в крови являются индикатором окислительного стресса в организме (А. Casado et al., 2008).

Фермент глутатионпероксидаза-1 кодируется геном *GPX-1* (*glutathione peroxidase 1*), который расположен на ВТА22 NC_037349.1 (50752554...50753722), состоит из 2 экзонов и 1 интрона (G.T. Mullenbach et al., 1988). Он является селенопротеином, содержащим в своем активном центре редкую аминокислоту

селеноцистеин (Sec). Мутация в положении 189 п.о. в сайте узнавания *Bsc4 I* (SNP Pro → Leu; переход C/T) гена *GPX-1* может контролировать интенсивность биосинтеза в структуре гена и в дальнейшем воздействовать на конфигурацию протеина (G.T. Mullenbach et al., 1988).

Как показывают зарубежные опыты, фермент глутатионпероксидаза-1 (GPx) играет важную роль в антиоксидантной защите стенок сосудов. В ходе исследований, проводимых на больных атеросклерозом, было установлено, что полиморфные варианты в гене *GPX-1* связаны с заболеваниями сердца и периферических сосудов. Сообщается, что пациенты, несущие по локусу гена *GPX-1* аллель С (Pro/Leu), менее подвержены риску заболеваний сердечно-сосудистой системы, чем носители аллеля Т (Pro/Pro), в анализах которых наблюдалось снижение активности фермента глутатионпероксидазы на 25–40 % (Т.Н. Hamanishi et al., 2004).

Исследования индийских авторов, направленные на изучение полиморфизма гена *GPX-1* крупного рогатого скота пород Нимари и Малви, в результатах сообщают о генетическом биоразнообразии и вариативности в этих популяциях (R. Jagtar, S. Singh, 2012; S. Singh et al., 2011).

Анализ полученных данных по генотипированию скота в Индии указывает на то, что «нормальный» аллель С имеет преимущество над «мутантным» аллелем Т в опытных популяциях различной селекции. В работе R. Jagtar и др. (2012) аллели С и Т в породе Малви имели частоту 0,741 и 0,249 соответственно, а генотипы СС – 53,8%, ТС – 42,3 и ТТ – 3,9 % (R. Jagtar, S. Singh, 2012). Опытное поголовье этой же породы в исследовании S.Singh и др. (2011) представлено аллелями С и Т с распределением – 0,870 и 0,130 (S. Singh et al., 2011). А животным породы Нимари соответствовали следующие значения: аллель С – 0,930 и аллель Т – 0,070. Максимальное количество животных являлись носителями гомозиготного генотипа СС – 86,0%, гетерозиготная группа ТС насчитывала лишь 14,0% от общего числа, а особи, имеющие генотип ТТ, среди этой породы не обнаружены.

Таким образом, описываемый генетический полиморфизм может применяться для сравнения влияния на показатели у животных во время физических нагрузок, увеличивающих окислительную реакцию организма, индуцируя в тканях усиленное производство энергии, а, следовательно, оказывать косвенное влияние на племенные и продуктивные качества коров и продолжительность хозяйственного использования.

1.4.2 Характеристика гена параоксоназа 1 (*PON1*) и его ассоциации с племенными и продуктивными качествами коров

Параоксоназа 1 (*PON1*) – фермент, который по своей химической природе является белком (точнее, гликопротеином), обладает молекулярной массой 38-45 кДа. Это Ca^{+} -зависимая эстераза, связанная с аполипопротеином А-1 (apoA-1) в липопротеинах высокой плотности (ЛПВП) (M.C. Blatter et al., 1993; A. Gugliucci et al., 2013; Э.А. Ефимцева, Т.И. Челпанова, 2012.). Впервые параоксоназа 1 была идентифицирована вследствие своей особенности гидролизовать – катализировать расщепление Р-О связей, детоксифицировать и устранять такие органофосфаты, как параксон и канцерогенные жирорастворимые радикалы, высокотоксичный эффект которых в организме обуславливается их способностью необратимо связывать холинэстеразу и противодействовать ее функциональной активности (P. Bossaert et al., 2012). Фермент параоксоназа 1 (*PON1*) осуществляет нейтрализацию токсичных веществ, в первую очередь органофосфатов, через реакцию гидролитического расщепления (B. Fuhrman et al., 2012; A. Kükürt, M. Karapehlivan, 2022).

Параоксоназа 1 (*PON1*) играет важную физиологическую роль в метаболизме липидов, проявляя антиоксидантные свойства, ингибируя окислительную модификацию ключевых биомолекул – липопротеинов низкой плотности, мембранных фосфолипидов и митохондриальных белков, что подтверждено в моделях атеросклероза, неалкогольной жировой болезни печени и нейродегенеративных патологиях (D. Juretic et al., 2006; O. Rozenberg et al., 2003).

Интерес к параоксоназе 1 млекопитающих обусловлен обнаружением новых свойств фермента, как антиоксиданта и детоксикатора (Э.А. Ефимцева, Т.И. Челпанова, 2012; S.P. Deakin et al., 2011). Параоксоназа обладает цитопротекторными свойствами, снижающими окислительное повреждение клеточных мембран (Cho K.H. 2009; V. Fuhrman et al., 2010).

Опыты на животных показали, что PON1 гидролизует окисленные липиды и выступает в качестве фермента-антиоксиданта, при этом снижение в сыворотке крови активности PON1 сопровождается увеличением окислительного стресса и риска развития атеросклероза (M. Bionaz et al., 2007). Параоксоназа 1 синтезируется исключительно в печени млекопитающих и секретируется в кровь (M.I. Mackness et al., 1996).

PON1 имеет свободный и мембраносвязанный вид. Ее количество, по словам P. Bossaert с соавт. (2012), напрямую зависит от протекающих воспалительных процессов в организме, циркулируя в ассоциации с липопротеинами высокой плотности (ЛПВП) (P. Bossaert et al., 2012). Также сообщалось, что в ранний послеродовой период окислительный стресс усиливается, уровень параоксоназы 1 снижается, при этом наблюдается положительное влияние ее высоких концентраций на организм (M. Bionaz et al., 2007). Активность PON1 исследовалась в различных аспектах у крупного рогатого скота, в том числе в качестве биомаркера инфекционных заболеваний (A. Schneider et al., 2013) и воспалений (H.A. Devenci et al., 2017), фертильности (P.A.S. Silveira et al., 2019; M. Kuru et al., 2016) и жировой дистрофии печени (A.S. Farid et al., 2013). Сообщается, что с увеличением активности параоксоназы 1, наблюдается повышение альбумина и вариативность в показателях общего белка (N.M. Taha et al., 2016), а также присутствует положительная корреляция уровня мочевины (M.H. Durak et al., 2017), холестерина (M. Bionaz et al., 2007; A.S. Farid et al., 2013) и триглицеридов в крови (N.M. Taha et al., 2016). Выявлена взаимосвязь активности параоксоназы-1 с уровнем АЛТ и АСТ – с повышением ее экспрессии, в крови происходит рост первого и снижение второго показателя (S. Abbas et al., 2020; A.S. Farid et al., 2013; A.G. Ji et al., 2008).

Фермент PON1 может взаимодействовать с инсулином, стеапсином, гормоном роста, липопротеинлипазой и лептином (R.A. Curi et al., 2005, 2006).

Активность параоксоназы 1 так же связывают с овуляцией, общей фертильностью и здоровьем репродуктивной системы у коров (A. Schneider et al., 2013; A.R.T. Krause et al., 2014; J.A.A. Rincón, 2016). В исследовании с отелившимися коровами у животных с большей экспрессией PON1 овуляция наблюдалась раньше, чем у животных с меньшей экспрессией (A.R.T. Krause et al., 2014). Во время овуляции происходит временное нарушение гомеостаза, провоцирующее изменения, которые могут негативно влиять на другие физиологические процессы, из-за чего этот процесс нередко сравнивают с воспалительной реакцией (J.E. Fortune et al., 2009; L.L. Espey, 1994). Предполагается, что изменения активности циркулирующей параоксоназы 1 после отела связаны с различиями в фертильных качествах, наблюдаемыми у лактирующих коров. Сообщается также о ее влиянии на продолжительность стельности (P.A.S. Silveira et al., 2019).

Ген *bovine PON1 (paraoxonase 1)*, кодирующий одноименный фермент, расположен на BTA4 NC_037331.1 (12542349...12576241, complement), имеет длину 33168 п.о. и молекулярную массу 43000-45000, содержит 9 экзонов и 8 интронов, состоит из 355 аминокислот (J. Zhang et al., 2013; P.A.S. Silveira et al., 2015). Замена (Arg→Gln, A/G) в положении 221 во фрагменте длиной 828 п.о. области промотора гена *PON1* сопряжена с реакцией острой фазы, что делает этот маркер перспективным для отбора коров с лучшим ответом на воспалительные процессы в организме (P.A.S. Silveira et al., 2015; A. Wedel et al., 1995).

Установлено, что полиморфизм в гене *PON1* существенно влияет на каталитическую способность фермента и его гидролитическую активность. По данным V.H. Brophy с соавт. (2001), полученным в исследовании человека (*Homo sapiens*), некоторые SNP гена *PON1* оказывают влияние на экспрессию и ферментативную активность сывороточной параоксоназы 1.

Полиморфные варианты гена *PON1* связывались авторами с динамикой живой массы в мясных и помесных породах крупного рогатого скота (A.G. Ji et

al., 2008). Его генетические вариации могут влиять на риск развития различных заболеваний, а снижение активности PON1 может увеличить окислительный стресс и риск атеросклероза. Молекулярно-генетическое тестирование по генам, отвечающим за антиоксидантную защиту организма животных, наряду с традиционными методами селекции, позволит улучшить хозяйственно полезные признаки крупного рогатого скота (Ya.M. Kurbangaleev et al., 2021; PAS Silveira et al., 2019). Идентификация различных генотипов позволит оценить влияние полиморфизма гена *PON1* на фертильность, прирост живой массы и молочную продуктивность крупного рогатого скота, что в дальнейшем может использоваться в селекции.

По сведениям исследователей, частота встречаемости аллеля А гена *PON1* у разных пород крупного рогатого скота в большинстве случаев была выше, чем аллеля G. Так, у пород ангус, герефорд и симментал в Китае встречаемость аллеля А варьировала от 0,515 до 0,545, G – от 0,455 до 485. Наиболее распространенным генотипом гена *PON1* среди всех исследуемых пород оказался гетерозиготный вариант – GA, который был зафиксирован в среднем в 51,0% случаев (A.G. Ji et al., 2008). Однако по данным других китайских ученых генотип AA практически отсутствовал в популяции помесных симментальских коров, тогда как количество представителей с гомозиготным генотипом GG достигало 84,0%. Соответственно, частота встречаемости аллеля G составляла 0,920, А – 0,080 (J. Zhang, 2013). P.A.S. Silveira с соавт. (2015, 2019), изучавшие полиморфизм в двух популяциях голштинского скота Бразилии, зафиксировали значительное доминирование аллеля А (0,603–0,798) над G (0,202–0,397). Доля животных с генотипом AA была наибольшей (64,3 и 41,1 %), далее следовали гетерозиготные GA-особи (30,9 и 38,2 %) и первотелки с GG генотипом (4,8 и 20,6 %) (P.A.S. Silveira et al., 2015, 2019).

Таким образом, изучение гена параоксоназы 1 (*PON1*) и его генетического полиморфизма позволяют выявлять животных с оптимальными хозяйственно-полезными признаками, включая устойчивость к воспалительным процессам, повышенную молочную продуктивность и улучшенные показатели фертильности.

1.4.3 Характеристика гена фактора роста фибробластов 21 (*FGF21*) и его ассоциации с племенными и продуктивными качествами коров

Эндокринная ветвь суперсемейства FGF (фактор роста фибробластов) регулирует различные физиологические процессы, необычные для классических факторов роста фибробластов. Рядом исследователей семейство FGF отнесено к белкам, обладающим гепатопротекторными свойствами, действующим как эндокринные гормоны и отвечающим за энергетический и желчный баланс, метаболизм глюкозы и липидов, а также гомеостаз фосфатов и витамина D (Н.Ю. Сафина и др., 2020; В.Р. Voettcher et al., 2021).

Фактор роста фибробластов 21 (FGF21) – это белковый гепатогормон, который регулирует важные метаболические пути и энергетический баланс. FGF21 стимулирует β -окисление жирных кислот, выработку кетоновых тел, ингибирование липогенеза, поглощение глюкозы, транспорт аминокислот и расход энергии. Циркулируя в кровеносном русле, это вещество проявляет эндокринную активность, выступая ключевым регулятором метаболизма глюкозы и липидов, однако *in vivo* не демонстрирует митогенных эффектов (А.М. Алиева и др., 2024; Y. Gao et al., 2023; X.-M. Sun et al., 2013). FGF21 был идентифицирован у многих видов млекопитающих как молекулярный маркер энергетического метаболизма, а также начала полового созревания, адаптации организма к изменению рациона, скорости набора живой массы (прирост) и молочной продуктивности (X.-M. Sun et al., 2013; L.D. Prezotto et al., 2023).

По сообщению исследователей, гормон FGF21 стимулирует окисление липидов в печени, кетогенез и глюконеогенез, а при несоблюдении норм кормления стабилизирует обеспечение организма достаточным количеством энергии и глюкозы (М.К. Badman et al., 2007, Т. Lundasen et al., 2007; J. Xu et al., 2009). Из-за своей критической функции в регуляции энергетического гомеостаза, терморегуляции и метаболизма глюкозы в печени и жировой ткани, фактор роста фибробластов 21 рассматривался как медиатор отложения жира и, следовательно, может быть связан с динамикой живой массы (X.-M. Sun et al., 2013).

FGF21 обладает очевидной видовой специфичностью, и его исследования у крупного рогатого скота ограничены, по сравнению с исследованиями у человека и других млекопитающих. У коров так же, как у мышей и человека, концентрация FGF21 в плазме коррелирует с концентрацией триглицеридов в печени (K.M. Schoenberg et al., 2011, Y. Shen et al., 2018), что позволяет предположить, что FGF21 может быть вовлечен в развитие синдрома жировой дистрофии печени. Несколько работ указывают на наличие взаимосвязи развития клинического кетоза в начале лактации с повышенной экспрессией FGF21 в печени и наращиванием его концентрации в плазме у лактирующих коров (H. Akbar et al., 2015; J. Wang et al., 2018).

Недавние исследования показывают, что FGF21 может регулировать метаболизм у высокопродуктивных дойных коров в переходный период, поскольку они обычно испытывают дефицит энергии и подвергаются различным стрессовым состояниям во время ранней фазы лактации (F.C. Cardoso et al., 2020). Отрицательный энергетический баланс связан с изменениями в печени, включающими усиление экспрессии генов, участвующих в β -окислении жирных кислот, кетогенезе и глюконеогенезе (K. Eder et al., 2021; G. Schlegel et al., 2013).

Ключевая функция FGF21 заключается в увеличении доступности энергетических субстратов, необходимых организму, чтобы справиться в условиях недостатка энергии или стресса (K.H. Kim, M.S. Lee, 2014). В период раздоя высокопродуктивные коровы находятся не только в отрицательном энергетическом балансе, но и испытывают различные виды стресса, в том числе окислительный и тепловой стресс, стресс эндоплазматического ретикулума (ЭР-стресс) или воспаление (D.K. Gessner et al., 2014).

Более того, повышенное содержание FGF21 в плазме в первые дни лактации может быть связано с высвобождением Ca^{2+} из костей, необходимого для секреции молока (K. Eder et al., 2021). G. Schlege с соавт. (2013) сообщают о том, что FGF21 может играть роль не только в кетогенезе, но и в метаболизме мышечной ткани печени (почечной экскреции), продуктом которого является креатинин, отражающий снижение почечной перфузии и степень мышечного

катаболизма при стрессореакции у коров (G. Schlegel et al., 2013). Более низкие концентрации азота, мочевины и креатинина указывают на высокую эффективность использования белка, а повышенные значения могут свидетельствовать о резком усилении катаболизма белка. Результаты показали, что FGF21 обладает способностью повышать эффективность использования протеина (Yu. Chen, 2019). Экспериментальные исследования продемонстрировали, что уровень FGF21 резко возрастал в послеродовой период, а в течение стельности постепенно снижался (J.S. Osorio et al., 2013; K.M. Schoenberg et al., 2011).

Научные наблюдения на человеке и мышах выявили, что FGF21 индуцируется не только при энергетической депривации, но и в ответ на различные стрессовые стимуляции, такие как стресс окружающей среды (холод, жара и др.), питательный стресс (голодание, недоедание, диета с высоким содержанием жиров, ожирение, недостаток аминокислот) или физические упражнения (K. Eder et al., 2021). Сильная индукция FGF21, не только в печени, но также и в белой жировой ткани, происходит в ответ на несбалансированное кормление, такое, как отсутствие в рационе белков, аминокислот и питание с высоким содержанием углеводов (глюкоза, фруктоза) или увеличение доли жиров (K.H. Kim, M.S. Lee, 2014; Ú. Martínez-Garza et al., 2019).

Установлено, что FGF21 отвечает за биологические функции в тканях печени, поджелудочной железы и адипоцитах, поддерживает межтканевые взаимосвязи, и может выступать в качестве аутокринного/паракринного цитокина (T. Coskun et al., 2008).

Ген фактор роста фибробластов 21 (*fibroblast growth factor 21, FGF21*) локализован на ВТА18 (NC_037345.1 [55382075...55384706]), содержит 2 интрона и 3 экзона и имеет длину 2632 п.о., преимущественно продуцируется в печени, поджелудочной железе, белой жировой ткани и скелетных мышцах (Y. Izumiya et al., 2008; T. Nishimura et al., 2000; H. Wang et al., 2008).

X.-M. Sun с соавт. (2013) и A.S. Van Laere с соавт. (2003), изучавшие несколько различных популяций, установили, что полиморфизм во 2 интроне

(g.940 C > T) гена *FGF21* оказывает влияние на живую массу крупного рогатого скота, преимущественно за счет изменения жираотложения. Кроме того, данный полиморфизм моделирует процессы развитие мышечной ткани и воздействует на сердечно-сосудистую систему, путем изменения размера сердца, а также затрагивает энергетический баланс и липидный обмен у коров (X.-M. Sun et al., 2013; A.S. Van Laere et al., 2003).

Указанный SNP (g.940 C > T) гена *FGF21*, исследованный ранее у скота пород Наньян (Nanyang), Цзясянь (Jiaxian), Циньчуань (Qinchuan), Люкс (Luxi) и Китайский красный степной, идентифицирован с различной вариабельностью аллелей и генотипов (X.-M. Sun et al., 2013). По всем породам наблюдается преобладание в распространении аллеля С над аллелем Т. Частота встречаемости аллеля С гена *FGF21* по опытным группам составила 0,618-0,985. У Китайского красного степного скота отсутствует гомозиготный ТТ-генотип, а генотип ТС представлен незначительным количеством особей – всего 3,0%. В других породах частота встречаемости генотипа ТТ гена *FGF21* была минимальна и составляла 3,1–6,4 % от общего поголовья стада. Максимальное количество гетерозиготных ТС-животных (48,5%) отмечается в породе Люкс. Во всех остальных группах преобладал гомозиготный генотип СС, представители которого имели долю от 54,5 до 97,0 % (Н.Ю. Сафина и др., 2020а; Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина, 2022).

Ученые пришли к выводу, что фактор роста фибробластов 21 может быть диагностическим параметром при оценке и вспомогательной диагностике изменений состояния энергетического метаболизма, а измерение уровня и экспрессии *FGF21* в печени и сыворотке крови будет иметь существенное клиническое значение.

Таким образом, изучение фактора роста фибробластов 21 и полиморфизмов гена *FGF21* представляет значительный интерес для современного животноводства, поскольку данный гормон играет ключевую роль в регуляции энергетического метаболизма, липидного обмена и адаптационных процессов у крупного рогатого скота.

2 СОБСТВЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Материалы и методы исследований

Работа выполнена 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.

Лабораторная часть исследований выполнялась в отделе физиологии, биохимии, генетики и питания животных Татарского научно-исследовательского института – обособленного структурного подразделения Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», г. Казань, Республика Татарстан (ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН).

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.

Все применимые международные, национальные и/или институциональные принципы ухода и использования животных были соблюдены. Комиссия по Биоэтике Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук» 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 (удой за 305 дн. и полную лактацию, живая масса в различные возрастные периоды, продолжительность репродуктивных циклов,

комплексный класс и др.) получены из ИАС «СЕЛЭКС. Молочный скот w. 9.3.0.0» (ООО «РЦ Плинор», Россия).

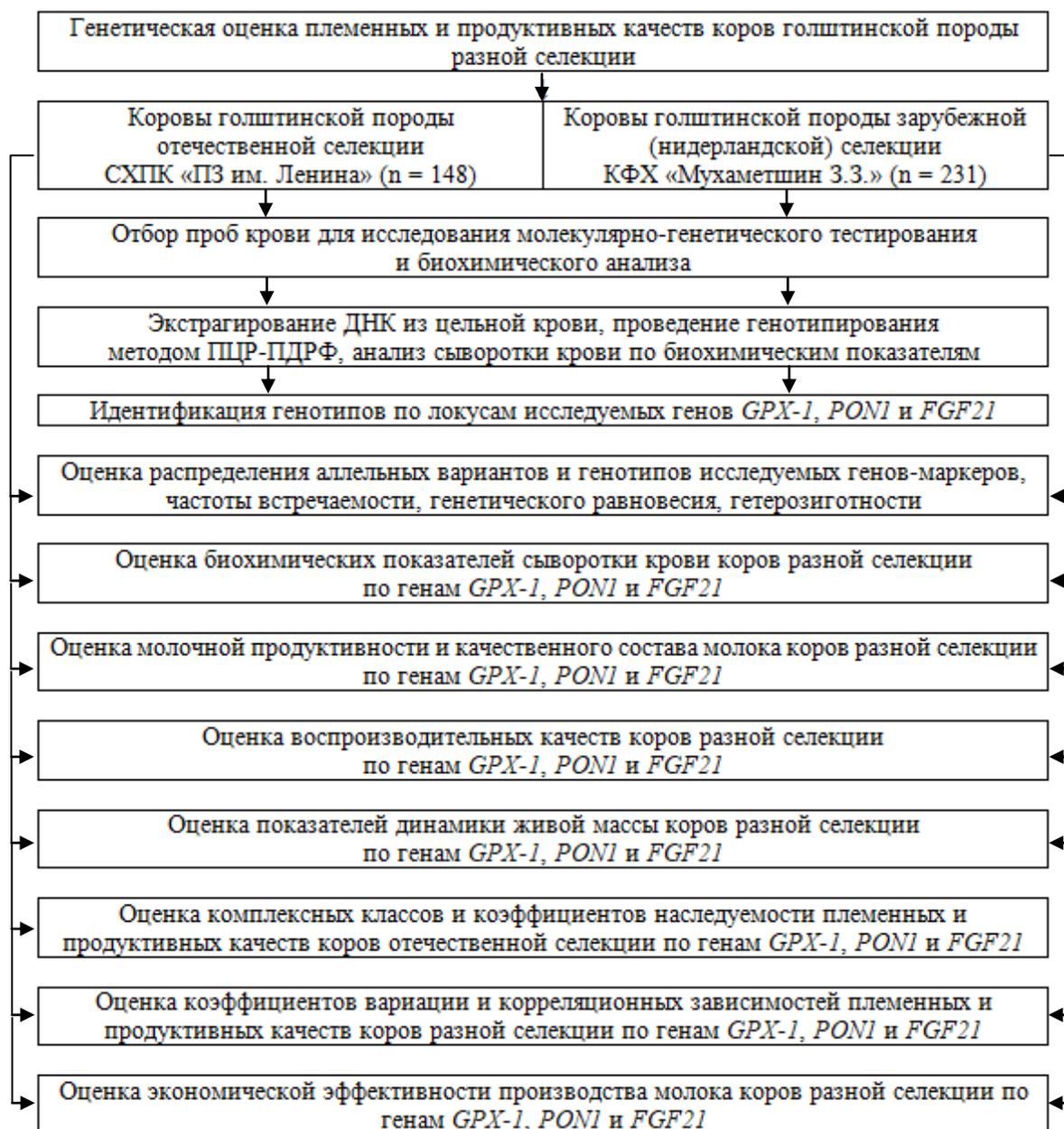


Рисунок 1 – Схема исследований

Отбор проб молока проводили во время контрольных доек при помощи стаканов-пробоотборников. Качественный состав и физико-химические свойства молока изучали методами инфракрасной спектроскопии и проточной цитометрии на оборудовании CombiFoss™ 7, MilkoScan™ 7 RM, Fossomatic™ 7 (FOSS Headquarters, Дания) в лаборатории АО ГПП «Элита» Высокогорского района Республики Татарстан.

2.1.1 Характеристика хозяйств и опытных популяций

СХПК «Племенной завод им. Ленина» Атнинского района РТ.

Сельскохозяйственный производственный кооператив «Племенной завод им. Ленина» расположен в д. Нижняя Береске Атнинского муниципального района Республики Татарстан, который относится к Столичному экономическому району, на основании программы «Развитие и размещение производительных сил Республики Татарстан на основе кластерного подхода до 2020 и на период до 2030 года». Коровы в хозяйстве содержатся в типовых в 4-х рядных коровниках с привязным содержанием.

Исследуемые животные – 148 гол. коров первого отела голштинской породы отечественной селекции. В хозяйстве внедрена система круглогодичного однотипного содержания и кормления животных. В производственных помещениях для оптимального микроклимата в летние месяцы налажена система принудительной вентиляции. В качестве подстилочного материала используется измельченная солома, а навоз удаляется с помощью скребкового транспортера ТСН-160 с погрузкой на транспортную тележку.

Кормление подопытных коров производится сбалансированной кормосмесью (монокорм), отвечающей современным требованиям и разработанной по единой системе специалистами-консультантами (А.П. Калашников и др., 2003). Ее готовят кормосмесителях-миксерах типа АКМ-9 и КУННС с использованием специальной техники JCB для выемки силоса и сенажа блоками. Компоненты кормовой смеси подаются в миксер строго по расчетной массе, установленной с помощью программного продукта DTM по «управлению кормления» скота.

Доеение коров 2-х разовое, проводится в молокопровод с автоматизированной программой управления стада (учет молока) De Laval DelProTM 3.5 (Швеция).

КФХ «Мухаметшин 3.3.» Сабинского района РТ. Крестьянское фермерское хозяйство «Мухаметшин 3.3.» расположено в д. Старая Икшурма Сабинского муниципального района Республики Татарстан, который является частью Северного экономического района. Коровы находятся в условиях мегафермы с беспривязным содержанием.

Исследуемые животные – 231 гол. коров первого отела голштинской породы зарубежной (нидерландской) селекции. Они были завезены из Нидерландов стельными нетелями, и отелились в условиях в КФХ «Мухаметшин 3.3.». В хозяйстве внедрена система круглогодичного однотипного содержания и кормления животных. В производственных помещениях для оптимального микроклимата в летние месяцы налажена система принудительной вентиляции. Для подстилки используются древесные опилки, а фекалии специализированный робот продавливают через решетчатый пол в подпольное навозохранилище-накопитель, оборудованное системой вентиляции для удаления газов (аммиака, метана и др.) вне территории комплекса.

Кормление производится балансированной кормосмесью, приготовленной в миксерах АКМ-9, два раза в сутки. Сенаж и силос, а также корнаж, плющенное зерно ячменя и кукурузы заготавливают с применением специальных биологических и химических консервантов.

На предприятии внедрено добровольное доение коров со свободным принципом движения (робот-дойяр «Astronaut A4»), что минимализирует стрессовое воздействие на животных. Для учета молочной продуктивности в хозяйстве установлена система управления стадом «Time for Cows» (Т4С). Кормление коров роботизированное, кормосмесь приготавливают в кормовом центре с использованием оборудования DTM и программного обеспечения (Lely Industries N.V., Нидерланды).

2.1.2 Материально-техническое оснащение лаборатории

Лаборатория для проведения молекулярно-генетических исследований отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН включает в себя следующие помещения:

1-ая комната – для приема, регистрации и хранения биологического материала и реактивов, оборудованная холодильным и морозильным оборудованием (POZIS, Россия).

2-ая комната – для выделения ДНК, оснащенная боксом для экстрагирования ДНК с бактерицидной лампой (BIOSAN, Китай), микроцентрифугами (Mini Spin plus, Германия) от 12 до 16000 g для микроцентрифужных пробирок объемом 1,5 мл, твердотельным термостатом для пробирок объемом 1,5 мл с диапазоном рабочих температур 25–100 °С «Гном» (ДНК-Технологии, Россия).

3-я комната – для амплификации ДНК, оборудованная ПЦР – боксом с бактерицидной лампой DNA/RNA UV – CLEA NER (BIOSAN, Китай), амплификаторами «T-100 Thermal Cycler», «My Cycler» (BIO RAD, США) с подложкой на 96 лунок, термостатом суховоздушным «Hotline» (BLINDER, США).

4-я комната – для проведения электрофоретического разделения, визуализации и видеофиксации продуктов амплификации ДНК (детекции), где установлены: вытяжной шкаф лабораторный (LAMSYSTEMS, Россия), источники постоянного тока на 150–460 В «Эльф-8» (ДНК-Технологии, Россия), микроволновая печь «LG MS-1724 W» (LG, Малайзия), камеры для горизонтального электрофореза (Helicon, Россия), система визуализации «GelDoc Go» с программным обеспечением «Image Lab Touch» V. 3.0 (BIO RAD, США), УФ-трансиллюминатор с гель-документирующей видеосистемой «Gel&Doc» (BIO RAD, США).

К вспомогательному лабораторному оборудованию (приборы и устройства) для проведения ДНК-диагностики относятся: электронные весы (Scout Pro, Ohaus

Corporation, Pine Brook, NJ, США), автоматические дозаторы переменного объема (Dragon Lab, Китай; Thermo Fisher Scientific Ленпипет, Россия; Assumax, Индия; Sartorius, Франция): 2–5 мкл, 5–50 мкл, 20–200 мкл, 100–1000 мкл, планшеты для пробирок объемом 0,2–0,5 мл и 1,0–2,0 мл (Helicon, Россия), подложки и гребенки для заливки геля на 20 и 24 лунки (Helicon, Россия), колбы из термостойкого стекла объемом 250 мл (Rasotherm, Германия).

Расходные материалы, используемые для лабораторных исследований: пробирки на 1500, 500, 200 и 10 мкл (Ахуген, SSIboi, США), перчатки нитриловые одноразовые «Venovy» (TG Medical Sdn. Bhd., Малайзия), одноразовые наконечники для дозаторов 10–1000 мкл (Ахуген, Vertex, США).

Реактивы для проведения анализа ПЦР, ПДРФ и электрофореза: наборы для выделения ДНК – «Ампли Сенс» ДНК-Сорб-В (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия), ПЦР-праймеры (различной концентрации (пмоль/мл)) (Евроген, СибЭнзим, Россия), 10х Taq DNA полимеразы с поставляемым Taq-буфером (СибЭнзим, Россия), 2,5 mM dNTP Mix (СибЭнзим, Россия), деионизированная вода (СибЭнзим, Россия), эндонуклеазы рестрикции (различной концентрации (ед./мл)) (СибЭнзим, Россия), трис-боратный буфер (10× TBE буфер) (Helicon, Россия), борная кислота (Helicon, Россия), этилендиаминтетрауксусная кислота (Helicon, Россия), агароза (Helicon, Россия), этидиум бромид «AppliChem» 1% (ITW Company, Германия), бромфеноловый синий (Sigma, Германия), глицерол (Helicon, Россия), дистиллированная вода.

2.1.3 Порядок и условия проведения молекулярно-генетического и биохимического анализа сыворотки крови коров

Для изучения биохимических показателей и иммуноферментного анализа, а также для ДНК исследований на 60-й день лактации из хвостовой вены животных были отобраны пробы цельной крови в вакуумные пробирки «Vacurette tube» («Грейнер Био-Уан ГмбХ», Австрия). Пробирки для получения сыворотки крови содержали ингибитор Z (Serum Clot Activator), для экстрагирования ДНК – EDTA.

Все процедуры проводились с соблюдением Федерального закона от 27.12.2018 г. (ред. от 08.08.2024) ФЗ № 498 ст. 11 «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

Для выделения ДНК из цельной крови крупного рогатого скота, использовали специальный коммерческий набор «АмплиСенс» ДНК-Сорб В (ФБУН ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Россия) в соответствии с протоколом, рекомендованным производителем.

Для проведения ПЦР анализа с целью идентификации полиморфных вариаций в генах *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* использовались разработанные комплекты олигонуклеотидных праймеров (F и R), представленные в таблице 1. Лиофилизированные праймеры, применяемые в работе, были синтезированы компаниями «СибЭнзим» (Россия) и «Евроген» (Россия).

Таблица 1 – Праймеры для полимеразной цепной реакции

Ген	Олигонуклеотидная последовательность праймеров	п.о.	Источник
<i>GPX-1</i> (C/T)	F:5'- GAAAAGTGCAGGTTGAATGG -3' R:5'- GCTGTGGTCTGGGAAAGG -3'	442	S. Singh et al., 2011
<i>PON 1</i> (A/G)	F:5'- CGGTAATCCCTGAAGAATGC -3' R:5'- GCACTTCCTACCCCTGCTTTG -3'	828	P.A.S. Silveira et al., 2015
<i>FGF21</i> (C/T)	F:5'- CCTGGCTCATGCTGGGCGAAGGGTC -3' R:5'- CGGAGGCAGGTCCCTCCCTTAACCTCTAG -3'	207	X.-M. Sun et al., 2013

В приготовлении раствора для ПЦР использовали реактивы «СибЭнзим» (Россия): деионизированную воду, смесь dNTPs, *Taq*-полимеразу с поставляемым буфером (Россия). Реакционные смеси, включающие в себя 2–5 мкл очищенной ДНК, готовили общим объемом 20–25 мкл (в зависимости от разработанного протокола).

В таблицах 2–4 представлены расчетные нормы внесения реагентов в реакционные смеси для полимеразной цепной реакции с каждым отдельно взятым комплектом праймеров по исследуемым генам-маркерам, исходя из их оптической плотности и исходной концентрации.

Таблица 2 – Состав реакционной смеси для ПЦР по гену *GPX-1*

Реактивы	Исходная концентрация	Рабочая концентрация	1 проба (мкл)
dH ₂ O	-	-	12,94
dNTPs	2,50 мМ	0,25 мМ	2,00
Буфер Taq	10×	1×	2,00
Taq ДНК pol	5,0 ед.	1,0 ед.	0,20
GPX-1 F	28,0 мкМ	0,50 мкМ	0,36
GPX-1 R	20,0 мкМ	0,50 мкМ	0,50
Проба ДНК			2,00
Объем всего			20,00

Таблица 3 – Состав реакционной смеси для ПЦР по гену *PON1*

Реактивы	Исходная концентрация	Рабочая концентрация	1 проба (мкл)
dH ₂ O	-	-	13,04
dNTPs	2,50 мМ	0,25 мМ	2,00
Буфер Taq	10×	1×	2,00
Taq ДНК pol	5,00 ед.	1,00 ед.	0,20
PON1 F	18,0 мкМ	0,50 мкМ	0,56
PON1 R	49,5 мкМ	0,50 мкМ	0,20
Проба ДНК			2,00
Объем всего			20,00

Таблица 4 – Состав реакционной смеси для ПЦР по гену *FGF21*

Реактивы	Исходная концентрация	Рабочая концентрация	1 проба (мкл)
dH ₂ O	-	-	13,85
dNTPs	2,50 мМ	0,25 мМ	2,50
Буфер Taq	10×	1×	2,50
Taq ДНК pol	5,00 ед.	1 ед.	0,25
FGF21 F	31,0 мкМ	0,50 мкМ	0,40
FGF21 R	25,0 мкМ	0,50 мкМ	0,50
Проба ДНК			5,00
Объем всего			25,0

Амплификация фрагментов ПЦР-анализа осуществлялась на программируемых термоциклерах «MyCycler» и «T100 Thermal Cycler» (BIO RAD, США) с использованием модифицированных температурно-временных режимов (табл. 5), разработанных индивидуально для каждого комплекта праймеров и оптимизированными дозами внесения реагентов.

Таблица 5 – Температурно-временные режимы для амплификации

Ген	Температурно-временной режим					
	предварит. денатурация	денатурация	отжиг	элонгация	кол-во циклов	финальная элонгация
<i>GPX-1</i> (C/T)	95 °С, 3 мин.	94 °С, 45 сек.	58 °С, 45 сек.	72 °С, 60 сек.	35	72 °С, 5 мин.
<i>PON1</i> (A/G)	94 °С, 5 мин.	94 °С, 60 сек.	58 °С, 60 сек.	72 °С, 60 сек.	40	72 °С, 10 мин.
<i>FGF21</i> (C/T)	94 °С, 5 мин.	94 °С, 30 сек.	67 °С, 30 сек.	72 °С, 40 сек.	40	72 °С, 10 мин.

В реакционные смеси, содержащие наработанный ПЦР-продукт для каждого из выявляемого полиморфизма, вносили соответствующие сайту узнавания эндонуклеазы рестрикции: *Bsc4 I* для генов *GPX-1* и *PON1*, и *Xba I* для *FGF21* (табл. 6–8). После чего подвергали гидролизу в суховоздушном термостате в течение от 16 ч. при температуре, рекомендованной производителем. Для эндонуклеазы рестрикции *Bsc4 I* инкубация протекала при температуре 55 °С, для *Xba I* – 37 °С.

Таблица 6 – Состав реакционной смеси для ПДРФ по гену *GPX-1*

Реактивы	Исходная концентрация	Рабочая концентрация	1 проба (мкл)
dH ₂ O			1,75
SE-буфер W	10×	1×	2,50
<i>Bsc4 I</i>	10,0 ед.	2,0 ед.	0,50
BSA	100,0 ед.	1,0 ед.	0,25
ПЦР-проба			20,00
Объем всего			25,00

Таблица 7 – Состав реакционной смеси для ПДРФ по гену *PON1*

Реактивы	Исходная концентрация	Рабочая концентрация	1 проба (мкл)
dH ₂ O	-	-	1,75
SE-буфер W	10×	1×	2,50
<i>Bsc4 I</i>	10,0 ед.	2,0 ед.	0,50
BSA	100,0 ед.	1,0 ед.	0,25
ПЦР-проба			20,00
Объем всего			25,00

Таблица 8 – Состав реакционной смеси для ПДРФ по гену *FGF21*

Реактивы	Исходная концентрация	Рабочая концентрация	1 проба (мкл)
dH ₂ O			1,50
SE-буфер W	10×	1×	3,00
<i>Xba I</i>	50 ед.	10 ед.	0,20
BSA	100 ед.	1 ед.	0,30
ПЦР-проба			25,0
Объем всего			30,0

В результате рестрикционного анализа для каждого из генов были получены фрагменты, соответствующие полиморфным вариантам нормального и мутантного аллеля изучаемых SNP (табл. 9).

Таблица 9 – Фрагменты, получаемые в ходе ПДРФ-анализа

Изучаемый полиморфизм	ПЦР-фрагмент	Эндонуклеаза рестрикции (t °C)	Сайт узнавания	ПДРФ-фрагменты генотипов
<i>GPX-1 (C/T)</i>	442	<i>Bsc4 I</i> (55 °C, 16 ч.)	CCNNNNN↑NNGG GGNN↓NNNNNCC	C – 194, 69 T – 442, 69
<i>PON1 (A/G)</i>	828			A – 311, 252, 106 G – 252, 221, 106, 90
<i>FGF21 (C/T)</i>	207	<i>Xba I</i> (37 °C, 16 ч.)	T↑CTAGA AGATC↓T	C – 207 T – 179, 28

Для определения полиморфизма генов ПДРФ-фрагменты разделяли в агарозном геле (1,5–3,0 %) с добавлением 5 мкл 10%-го бромистого этидия в 1хТБЕ-буфере в камере для горизонтального фореза (Helicon, Россия) при напряженности электрического поля в 20 В/см в течение 20–30 мин. Визуализация и фиксирование проводилась с помощью системы документирования «Gel&Doc» и «GelDoc Go» с программным обеспечением «Image Lab Touch» V. 3.0 (BIO RAD, США). Идентификацию генотипов определяли по выявляемому полиморфизму последовательностей ДНК.

Для оценки биохимического и иммунноферментного статуса опытных популяций крупного рогатого скота были проведены исследования сыворотки крови по 13 показателям белкового, липидного, углеводного, и минерального обмена. Биохимический анализ сыворотки крови проводился в «ВетТест» и ГБУ

«Республиканская ветеринарная лаборатория» (Россия) по общепринятым методикам.

Уровень активности глутатионпероксидазы (GPx), параоксоназы 1 (PON1) и фактора роста фибробластов 21 (FGF21), измеряли методом ИФА на анализаторе «Multiskan FC» (Thermo Scientific, США), с использованием готовых комплектов реагентов ELISA KIT (БиоХимМак, Россия) согласно инструкции производителя.

2.1.4 Обработка первичных данных

Обработку полученных данных в результате проведенных научно-хозяйственных и лабораторных опытов проводили согласно общепринятым методам статистического и биометрического анализа с использованием пакета MS Office на ПЭВМ в отделе физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН.

Частоту встречаемости генотипов определяли по формуле:

$$p = \frac{n}{N}, \text{ где} \quad (1)$$

p – частота генотипа,

n – количество особей, имеющих определенный генотип,

N – общее число особей.

Частоту отдельных аллелей вычисляли с использованием формулы Е.К. Меркурьевой (1977):

$$p_A = (2n_{AA} + n_{AB})/2N \text{ и } q_B = (2n_{BB} + n_{AB})/2N, \text{ где} \quad (2, 3)$$

p_A – частота аллеля A ,

q_B – частота аллеля B ,

N – общее число аллелей.

Для оценки соответствия между наблюдаемым и ожидаемым распределением использовали критерий хи-квадрат Пирсона (χ^2):

$$\chi^2 = \sum \frac{(f_o - f_e)}{f_e}, \text{ где} \quad (4)$$

f_o – наблюдаемая частота генотипа,

f_e – ожидаемая частота генотипа;

и проводили проверку на генетическое равновесие в популяции согласно закону Харди-Вайнберга:

$$q^2 + 2qr + p^2 = 1, \text{ где} \quad (5)$$

q^2 – доля гомозигот по одному из аллелей,

q – частота этого аллеля,

p^2 – доля гомозигот по альтернативному аллелю,

p – частота соответствующего аллеля,

$2qr$ – доля гетерозигот;

Мера информационного полиморфизма (PIC) гена для биаллельных маркеров рассчитывалась по формуле:

$$PIC = 1 - (q^2 + p^2) - 2 * q^2 * p^2, \text{ где} \quad (6)$$

PIC – мера информационного полиморфизма,

q – частота аллеля A ,

p – частота аллеля B .

Оценку избытка (недостатка) гетерозигот, или коэффициент фиксации (Fis), в популяции по каждому гену-маркеру вычисляли по формуле:

$$Fis = 1 - H_o / H_e, \text{ где} \quad (7)$$

H_o – наблюдаемая гетерозиготность,

H_e – ожидаемая гетерозиготность.

Для расчета коэффициента воспроизводительной способности (KBC) применялась формула Н.М. Крамаренко (1974), а выход телят на 100 гол. коров (BT), вычисляли расчетным методом по формуле И.М. Дунина (1996):

$$KBC = 365 / MOП \text{ и } BT = (365 - СП) / 285 * 100, \text{ где} \quad (8, 9)$$

$MOП$ – продолжительность межотельного периода, дн.

365 – число дней в году;

$СП$ – сервис-период (время между отелом и оплодотворением), дн.,

285 – средняя продолжительность стельности, дн.

Индекс плодовитости коров (индекс Дохи) определяли по формуле, предложенной венгерским ученым Я.Дохи (1961):

$$T = 100 - (K + 2 * \text{МОП}), \text{ где} \quad (10)$$

T – индекс плодовитости,

K – возраст коровы при первом отеле, мес.,

МОП – средний межотельный период, мес.

Абсолютный и среднесуточный прирост живой массы вычисляли по формулам:

$$A = W_1 - W_0 \text{ и } C = (W_1 - W_0) * 1000 / t, \text{ где} \quad (11, 12)$$

A – абсолютный прирост живой массы, кг,

W_1 – живая масса конечная, кг,

W_0 – живая масса начальная, кг,

t – интервал между взвешиваниями, сут.,

C – среднесуточный прирост живой массы, г.

Коэффициент устойчивости лактации (КУЛ) определяли по формуле:

$$\text{КУЛ} = (Y_1 - Y_2) / Y_1, \text{ где} \quad (13)$$

Y_1 – удой за 305 дн., кг

Y_2 – удой за первые 100 дней, кг.

Коэффициент вариации (Cv), коэффициент корреляции (r), коэффициент наследуемости (h^2) признаков рассчитывались по методикам, предложенным Н.А. Плохинским (1969).

Из числа животных были сформированы опытные группы в соответствии с установленными генотипами изучаемых генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21*, и проведена оценка их племенных и продуктивных качеств.

Статистическая значимость полученных результатов проверялась согласно критерию t -Стьюдента между независимыми выборками:

$$t_d = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \text{ где} \quad (14)$$

M_1 и M_2 – средняя арифметическая по каждой выборке;

m_1^2 и m_2^2 – квадраты ошибок средней арифметической по каждой выборке.

2.2 Результаты исследований и их обсуждение

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

Мониторинг генетической структуры и параметров разнообразия популяций проводится для изучения, сохранения и увеличения генетических ресурсов, предотвращает инбридинг и предупреждает вырождение, снижает риск генетических заболеваний (аномалий) и т.п. Отклонение от генетического равновесия (закон Харди-Вайнберга) может указывать на искусственный отбор, инбридинг, миграцию генов, что важно в племенной работе. Такие исследования необходимы для эффективности программ разведения и обеспечения устойчивого развития животноводства.

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

В результате проведенного молекулярно-генетического анализа проб крови коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции методом ПЦР-ПДРФ по локусу гена *GPX-1 – Bsc4 I* с последующей визуализацией продуктов рестрикции были получены следующие фрагменты (рис. 2). Сочетаемость пар оснований (п.о.) позволила идентифицировать генотипы исследуемого гена.

ДНК-тестирование 148 коров голштинской породы СХПК «ПЗ им. Ленина» Атнинского района Республики Татарстан показало, что исследуемое поголовье представлено всеми возможными генотипами гена *GPX-1* (табл. 10). В наблюдаемом распределении наибольшее количество голов насчитывалось среди носителей гетерозиготного генотипа ТС – 89 гол. (60,1%). Гомозиготные особи, имеющие генотипы СС и ТТ, представлены группами по 30 и 29 голов или 20,3 и 19,6 % соответственно.

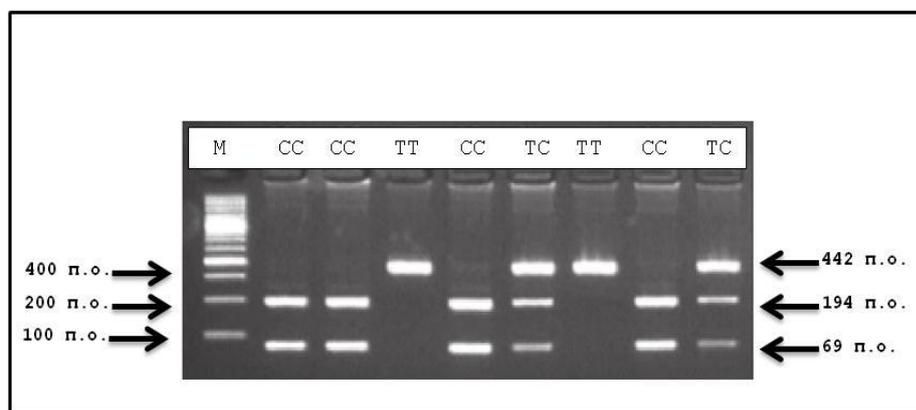


Рисунок 2 – Электрофоретическое разделение продуктов ПЦР-ПДРФ анализа в агарозном геле по локусу гена *GPX-1 – Bsc4 I* (М – маркер 50–1000 п.о., генотипы: СС – 194, 69 п.о., ТС – 442, 194, 69 п.о., ТТ – 442 п.о.)

Частота встречаемости аллелей составила: С – 0,503 и Т – 0,497, что свидетельствует о небольшом перевесе в сторону аллеля С. В ожидаемом распределении генотипов гена *GPX-1* в популяции наблюдается незначительное смещение в направлении нарастания гомозиготности ($p \leq 0,05$; $\chi^2_{крит} = 9,21$).

Таблица 10 – Генетическая структура и параметры генетического разнообразия опытных популяций по гену *GPX-1*

	Генотипы						Аллели		χ^2	Fis	PIC
	п	%	п	%	п	%	С	Т			
	СС		ТС		ТТ						
СХПК «ПЗ им. Ленина»											
Н	30	20,3	89	60,1	29	19,6	0,503	0,497	6,10	-0,203	0,375
О	37,5	25,3	74,0	50,0	36,5	24,7					
КФХ «Мухаметшин 3.3.»											
Н	53	22,9	131	56,7	47	20,3	0,513	0,487	4,21	-0,135	0,375
О	60,8	26,3	115,4	50,0	54,8	23,7					

В процессе генотипирования особей голштинской породы зарубежной селекции КФХ «Мухаметшин 3.3.» Сабинского района Республики Татарстан было также установлено численное превосходство коров с гетерозиготным генотипом ТС (56,7%), вторая по численности группа коров имела гомозиготный генотип СС (23,0%) и меньше всего было особей с генотипом ТТ (20,3%). Частота

встречаемости аллелей С и Т гена *GPX-1* составила 0,513 и 0,487 соответственно, демонстрируя незначительное доминирование аллеля С.

Вариабельность между наблюдаемым и ожидаемым распределением генотипов установлена на уровне $\chi^2 = 4,21$, который ниже критических значений ($\chi^2_{крит(0,05)} = 5,99$). В популяции зарубежной селекции в ожидаемом распределении наблюдается небольшое смещение в сторону увеличения гомозиготных генотипов, что свидетельствует о слабо выраженном нарушении генетического равновесия. (Н.Ю. Сафина и др., 2020а; Э.Р. Гайнутдинова и др., 2023а).

Коэффициент инбридинга *Fis* принимает отрицательные значения (-0,203 и -0,135), что свидетельствует об избытке гетерозигот в ожидаемом распределении в обеих исследуемых популяциях голштинского скота.

Мера информационного полиморфизма (*PIC*) в нашем исследовании составила 0,375 в популяции отечественного и зарубежного скота, что означает умеренный уровень полиморфизма для гена-маркера *GPX-1* в популяциях. Генетические различия между популяциями минимальны ($F_{st} \approx 0,0012$), что говорит об их общей генетической истории или активном генном потоке.

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

Электрофоретическое разделение показало, что в изученных популяциях присутствуют животные-носители всех генотипов и аллелей гена *PONI* (рис. 3). Частота встречаемости аллеля А в популяции отечественного скота СХПК «ПЗ им. Ленина» составила 0,564, а аллеля G – 0,436; генотипов AA – 31,8% (47 гол.), GA – 49,3% (73 гол.), GG – 18,9% (28 гол.) (табл. 11).

Генетическое равновесие в популяции по исследуемому гену *PONI* согласно закону Харди-Вайнберга не нарушено. По результатам тестирования вариабельности между ожидаемым и наблюдаемым распределением значение величины χ^2 находится ниже критического ($\chi^2_{крит} = 5,99$). (Н.Ю. Сафина и др., 2020с).

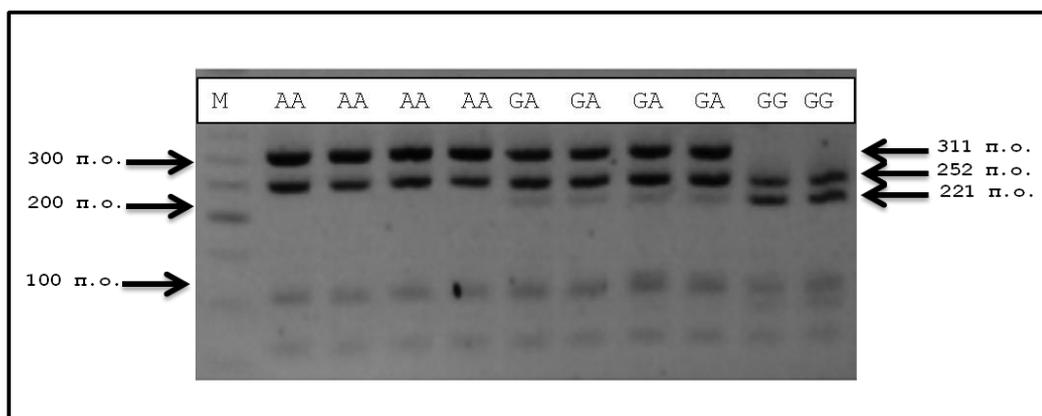


Рисунок 3 – Электрофоретическое разделение продуктов ПЦР-ПДРФ анализа в агарозном геле по локусу гена *PON1* – *Bsc4 I* (M – маркер 50–1000 п.о., генотипы: AA – 311, 252 п.о., GA – 311, 252, 221 п.о., GG – 252, 221 п.о.)

В процессе генотипирования поголовья коров КФХ «Мухаметшин 3.3.» во фрагменте длиной 828 п.о. в области промотора гена *PON1* (–221 Arg→Gln, A/G) было установлено три генотипа: AA, GA и GG. Частота встречаемости их соответственно составила 33,3% (77 гол.), 49,8% (115 гол.) и 16,9% (39 гол.), а наблюдаемое распределение аллелей A и G – 0,582 и 0,418.

Таблица 11 – Генетическая структура и параметры генетического разнообразия опытных популяций по гену *PON1*

	Генотипы						Аллели		χ^2	<i>Fis</i>	<i>PIC</i>
	n	%	n	%	n	%	A	G			
	AA		GA		GG						
СХПК «ПЗ им. Ленина»											
H	47	31,8	73	49,3	28	18,9	0,564	0,436	0,01	-0,003	0,370
O	47,1	31,8	72,8	49,2	28,1	19,0					
КФХ «Мухаметшин 3.3.»											
H	77	33,3	115	49,8	39	16,9	0,582	0,418	0,13	-0,023	0,365
O	78,3	33,9	112,4	48,6	40,3	17,5					

Вариабельность между наблюдаемым и ожидаемым распределением генотипов установлена на уровне $\chi^2 = 0,13$ ($\chi^2_{крит(0,05)} = 5,99$), и свидетельствует о соблюдении генетического равновесия, согласно закону Харди-Вайнберга в изучаемой популяции. Небольшой отрицательный индекс инбридинга *Fis* установлен для обеих популяций, что подтверждает сохранение генетического баланса и указывает на незначительную избыточную частоту гетерозиготности.

Мера информационного полиморфизма (*PIC*) по гену *PON1* для популяций скота отечественной и зарубежной селекции составила соответственно 0,370 и 0,365, что говорит об умеренном полиморфизме. Генетические различия между популяциями незначимы ($F_{st} \approx 0,0032$, что $< 0,05$).

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

Визуализация продуктов амплификации с последующей рестрикцией по гену *FGF21-Xba I* и электрофоретическим разделением на фрагменты позволила идентифицировать в популяции скота отечественной селекции 2 генотипа, а в зарубежной – 3 генотипа (рис. 4).

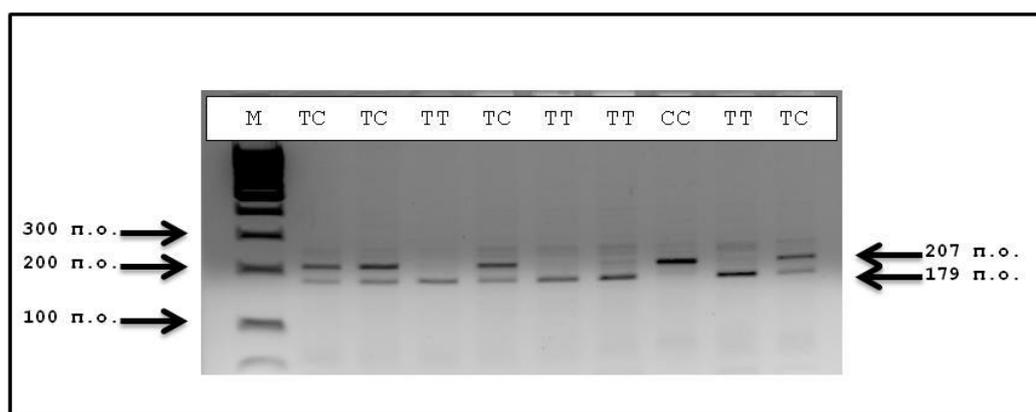


Рисунок 4 – Электрофоретическое разделение продуктов ПЦР-ПДРФ анализа в агарозном геле по локусу гена *FGF21 – Xba I* (М – маркер 50–1000 п.о., генотипы: СС – 207 п.о., ТС – 207, 179 п.о., ТТ – 179 п.о.)

При детализации генетического профиля по гену *FGF21* в популяции коров СХПК «ПЗ им. Ленина», выявлены 2 аллеля и 2 генотипа (табл. 12). Частота встречаемости составила: аллель С – 0,642 и аллель Т – 0,358; генотип СС – 28,4% (42 гол.) и генотип ТС – 71,6% (106 гол.). Гомозиготный генотип ТТ в исследуемой популяции не обнаружен. Тестирование методом хи-квадрат показало, что в ожидаемом распределении наблюдается смещение в сторону наращивания гомозиготности. Вариабельность между наблюдаемым и

ожидаемым распределением генотипов установлена $\chi^2 = 46,06$, что выше допустимых значений ($\chi^2 > \chi^2_{крит}$), и свидетельствует об отсутствии генетического равновесия согласно закону Харди-Вайнберга в изучаемой популяции. Высокий отрицательный коэффициент фиксации (*Fis*), равный -0,559, указывает, что в наблюдаемом распределении зафиксирован избыточный уровень гетерозиготности и недостаток гомозигот.

Таблица 12 – Генетическая структура и параметры генетического разнообразия популяций по гену *FGF21*

	Генотипы						Аллели		χ^2	<i>Fis</i>	<i>PIC</i>
	п	%	п	%	п	%	<i>C</i>	<i>T</i>			
	<i>CC</i>		<i>TC</i>		<i>TT</i>						
СХПК «ПЗ им. Ленина»											
Н	42	28,4	106	71,6	0	0,0	0,642	0,358	46,06	-0,559	0,354
О	61,0	41,2	68,0	46,0	19,0	12,8					
КФХ «Мухаметшин 3.3.»											
Н	60	26,0	152	65,8	19	8,2	0,589	0,411	29,75	-0,359	0,367
О	80,1	34,7	111,9	48,4	39,1	16,9					

В популяции голштинского скота КФХ «Мухаметшин 3.3.» преобладают носители гетерозиготного генотипа *TC* – 65,8% от общего поголовья. Значительно меньше особей с генотипом *CC* – 26,0% и небольшая группа (8,2%) гомозиготных *TT*-животных. Частота встречаемости аллелей *C* и *T* составила 0,589 и 0,411 соответственно (Э.Р. Гайнутдинова и др., 2023b).

Вариабельность между наблюдаемым и ожидаемым распределением генотипов установлена на уровне $\chi^2 = 29,75$, который выше допустимых значений ($\chi^2_{крит (0,05)} = 5,99$). В популяции в ожидаемом распределении наблюдается смещение в сторону наращивания гомозиготности. Значение коэффициента фиксации (*Fis*), установленное в этой популяции (-0,359), также свидетельствует об отсутствии генетического баланса между наблюдаемым и ожидаемым распределением и сильной гетерогенностью. Не смотря на отсутствие носителей генотипа *TT* гена *FGF21* в популяции отечественного скота, анализ информационного полиморфизма (*PIC*) проявляет довольно умеренный уровень полиморфизма для обеих исследуемых популяций (0,354 и 0,367). Расчетный

показатель $F_{st} \approx 0,003$, ($< 1\%$) подтверждает нулевую гипотезу о генетической однородности популяций.

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

В популяциях голштинского скота отечественной и зарубежной селекции проведен всесторонний анализ показателей молочной продуктивности и качественного состава молока в разрезе исследуемых генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21*. Такая оценка является важнейшим элементом современной селекционной работы, направленной на улучшение племенных и продуктивных качеств животных. Это позволяет получить комплексную характеристику стада по ключевым показателям, включающим не только величину удоев, но и содержание жира, белка, лактозы, соматических клеток и других значимых компонентов молока, что дает возможность объективно оценить генетический потенциал животных. Изучение качественных свойств молока особенно важно, так как эти показатели напрямую влияют на технологические свойства сырья и экономическую эффективность молочного производства. Кроме того, такая оценка позволяет выявлять лучших представителей породы для дальнейшего использования в племенной работе, что в конечном итоге способствует повышению конкурентоспособности отечественного молочного скотоводства.

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

Анализ ассоциаций полиморфизма гена *GPX-1* с показателями удоя и качественного состава молока представлен в таблице 13. Полученные данные свидетельствуют о разной степени влияния генотипов изучаемого гена на признаки молочной продуктивности.

В поголовье животных СХПК «ПЗ им. Ленина» продолжительностью полной лактации, удоем за полную и стандартную (305 дн.) лактации, так же коэффициентом молочности выгодно отличаются коровы с генотипом СС гена *GPX-1*. Достоверно значимое преобладание этих животных над показателями опытных групп с генотипами ТС и ТТ по количеству дойных дней составило 19,9 дн. (5,4%; $p < 0,05$) и 36,8 дн. (10,0%; $p < 0,001$) соответственно. Наблюдаемое достоверное различие по уровню удоя за полную лактацию между группами коров с генотипами СС и ТТ составило 661,0 кг (8,2%; $p < 0,01$).

Таблица 13 – Показатели молочной продуктивности 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
Коэффициент устойчивости лактации	96,1 ± 2,9	99,5 ± 1,7	96,6 ± 2,1
Живая масса при 1 отеле, кг	536,9 ± 4,9	540,4 ± 4,3	549,1 ± 6,8
Коэффициент молочности	1267,7 ± 20,3	1247,7 ± 15,0	1225,9 ± 16,9
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
Коэффициент устойчивости лактации	97,2 ± 2,3	93,4 ± 1,5	92,5 ± 2,9
Живая масса при 1 отеле, кг	493,9 ± 4,3	501,6 ± 4,2	494,0 ± 5,4
Коэффициент молочности	1594,2 ± 24,2*	1519,1 ± 19,3	1534,0 ± 31,0

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

Несмотря на отсутствие статистической значимости, по показателю удоя за 305 дней, больше молока получено от коров СС-генотипа, что на 63,7 кг (0,9%) больше, чем от особей ТС-генотипа, и на 74,8 кг (1,1%) от коров ТТ-генотипа. Максимально высокий коэффициент устойчивости лактации установлен у

животных с генотипом ТС, в то время, как высокий коэффициент молочности зафиксирован у коров с генотипом СС.

В популяции коров КФХ «Мухаметшин 3.3.» достоверно продолжительной лактацией характеризуются особи с генотипом ТТ по отношению к особям с генотипом СС. Различие по этому показателю составило 27,7 дн. (7,6%; $p < 0,01$). Высокая степень достоверности по этому показателю замечена также между животными с генотипами ТС и СС – 23,9 дн. (6,9%; $p < 0,001$).

Установлено, что у коров с генотипом ТТ статистически значимо высокий удой за полную лактацию, который по сравнению с особями генотипа ТС, больше на 520,4 кг (5,9%; $p < 0,05$), а с животными, имеющими генотип СС, – на 813,9 кг (9,2%; $p < 0,05$).

Коровы с генотипом СС обладали наивысшим уровнем удоя за 305 дней. Их превосходство по этому показателю над сверстницами с генотипом ТТ составило 295,6 кг (3,8 %; $p < 0,05$), а с генотипом ТС – 253,6 кг (3,2%; $p < 0,05$). По коэффициенту устойчивости лактации статистически значимой разницы между опытными группами не установлено. Однако характер наблюдаемой тенденции имеет вид $ТТ > ТС > СС$.

Коэффициент молочности в исследуемом поголовье скота зарубежной селекции был максимальным у коров с генотипом СС. Достоверная разница по этому показателю по сравнению с животными с генотипом ТС составила 75,1 (4,7%; $p < 0,05$).

Анализ качества молока голштинских коров отечественной селекции с различными генотипами *GPX-1* свидетельствует, что особи, несущие в геноме гетерозиготный генотип ТС, превосходят сверстниц с другими генотипами по всем показателям качественного состава молока (табл. 14).

Так достоверная разница по содержанию массовой доли жира молока между группами с генотипами ТС и СС составила 0,10% (2,64 п.п.; $p < 0,05$). По показателям массовой доли белка, выходу молочного жира и молочного белка, а также сумме молочного жира и белка статистических различий не наблюдается, но прослеживается

следующая тенденция по генотипам $CC < TC > TT$. Наибольшая сумма молочного жира и белка зафиксирована у животных с генотипом TC – 484,1 кг.

Проведенный анализ качественных показателей молока опытных коров КФХ «Мухаметшин 3.3.» показал, что животные, имеющие генотип CC гена *GPX-1*, отличаются наибольшей массовой долей жира, превосходя этот показатель в молоке особей с генотипом CC на 0,10% (2,76 п.п.; $p < 0,05$), а с генотипом TT – на 0,17% (4,70 п.п.; $p < 0,05$).

Таблица 14 – Показатели качественного состава молока коров с разными генотипами гена *GPX-1*

<i>СХПК «ПЗ им. Ленина»</i>			
Показатель	<i>CC</i> (n = 30)	<i>TC</i> (n = 89)	<i>TT</i> (n = 29)
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
Сумма молочного жира и белка, кг	479,1 ± 8,4	484,1 ± 6,7	477,3 ± 9,1
<i>КФХ «Мухаметшин 3.3.»</i>			
Показатель	<i>CC</i> (n = 53)	<i>TC</i> (n = 131)	<i>TT</i> (n = 47)
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
Сумма молочного жира и белка, кг	533,0 ± 8,7*	509,8 ± 6,2	506,2 ± 9,2

По содержанию массовой доли белка по группам всех генотипов статистической достоверности в разнице не наблюдается. Наиболее высоким выходом молочного жира в данной популяции скота обладали коровы с генотипом CC . Статистически значимое различие по этому показателю по сравнению с животными с генотипом TC составило 16,8 кг (5,9%; $p < 0,05$), а с генотипом TT – 23,6 кг (8,3%; $p < 0,01$). По выходу молочного белка статистических различий между группами животных не установлено. Наивысшей суммой молочного жира и белка характеризовались коровы с генотипом CC , превышая этот показатель у сверстниц с генотипом TC на 23,2 кг (4,4%; $p < 0,05$), с генотипом TT – на 26,8 кг (5,0%; $p < 0,05$).

Исследование физико-химических показателей молока коров СХПК «ПЗ им. Ленина» продемонстрировало, что уровень рН был выше у животных с генотипом СС – 6,62 (табл. 15). Статистически значимая разница по данному показателю со сверстницами, имеющими генотип ТС, составила 0,040 (0,6%, $p < 0,01$).

Коровы с генотипом СС достоверно выгодно отличались по содержанию лактозы в молоке. Наблюдаемое превосходство особей с генотипом СС над сверстницами с генотипом ТС составило 0,06% (1,29 п.п.; $p < 0,01$).

Таблица 15 – Результаты исследований физико-химических показателей молока коров с разными генотипами гена *GPX-1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	СС (n = 30)	ТС (n = 89)	ТТ (n = 29)
рН	6,62 ± 0,01*,**	6,58 ± 0,01	6,59 ± 0,01
Лактоза, %	4,66 ± 0,02**	4,60 ± 0,01	4,59 ± 0,03
СОМО, %	8,98 ± 0,05	8,97 ± 0,03	8,97 ± 0,04
Сухое вещество, %	12,48 ± 0,12	12,58 ± 0,08	12,55 ± 0,10
Мочевина, моль/л	45,17 ± 0,77	45,05 ± 0,40	45,87 ± 0,79
β-гидроксибутират, ммоль/л	0,056 ± 0,005	0,059 ± 0,003	0,057 ± 0,006
Ацетон, ммоль/л	0,089 ± 0,012	0,097 ± 0,009	0,086 ± 0,011
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)
рН	6,56 ± 0,01	6,55 ± 0,01	6,56 ± 0,01
Лактоза, %	4,88 ± 0,01***	4,79 ± 0,01	4,81 ± 0,02
СОМО, %	9,20 ± 0,03	9,14 ± 0,03	9,23 ± 0,05
Сухое вещество, %	10,61 ± 0,14	11,20 ± 0,09	11,61 ± 0,10**,***
Мочевина, моль/л	32,2 ± 0,84	30,93 ± 0,36	31,14 ± 0,47
β-гидроксибутират, ммоль/л	0,010 ± 0,002**	0,004 ± 0,001	0,006 ± 0,002
Ацетон, ммоль/л	0,011 ± 0,004	0,000	0,000
Соматические клетки, тыс./см ³	270,3 ± 29,8	219,0 ± 18,9	312,2 ± 33,4*

По таким показателям, как СОМО, сухое вещество, мочевина, β-гидроксибутират, ацетон в молоке коров статистической значимости между сравниваемыми генетическими группами не зафиксировано. Однако показатель мочевины превышает физиологическую норму при оптимальном уровне 15–

30 ммоль/л, что свидетельствует о белковом перекорме и неэффективном его использовании в организме коров.

По количеству соматических клеток в молоке достоверное различие установлено между животными с генотипами ТТ и СС – 210,6 тыс./см³ (53,5%, $p < 0,001$), с генотипами ТТ и ТС – 223,0 тыс./см³ (56,6%, $p < 0,01$). У животных с генотипами СС и ТС этот показатель находится в пределах допустимых значений в соответствии с ГОСТ Р 52054–2003.

В ходе исследования физико-химических свойств молока подопытных животных КФХ «Мухаметшин 3.3.» было установлено, что показатели рН в молоке одинаковые у животных с генотипами СС и ТТ и находятся на уровне 6,56. На 0,01 этот показатель ниже у коров с генотипом ТС.

По содержанию лактозы статистически значимое различие отмечается у особей с генотипами СС и ТС – 0,09% (1,84 п.п.; $p < 0,001$) и с генотипами СС и ТТ – 0,07% (1,43 п.п.; $p < 0,001$).

По уровню СОМО и мочевины в молоке статистической разницы в разрезе сравниваемых групп генотипов не наблюдается.

Достоверно значимым высоким содержанием сухого вещества обладают коровы с генотипом ТТ. Разница между сухим веществом в молоке животных с генотипами ТТ и СС составила 1,0% (8,61 п.п.; $p < 0,001$), с генотипами ТС и СС – 0,59% (5,08 п.п.; $p < 0,001$).

По показателю β-гидроксibuтират зафиксирована достоверная разница между его содержанием в молоке особей с генотипами СС и ТС – 0,006 ммоль/л (60,0%; $p < 0,01$).

Достоверное преимущество по уровню ацетона в молоке в исследуемой популяции выявлено у коров с генотипом СС по сравнению с животными, имеющими генотип ТС и ТТ – 0,011 ммоль/л (100%; $p < 0,01$).

Содержание соматических клеток, превышающее нижнее пороговое значение ($\geq 250,0$ тыс./см³) согласно ГОСТу Р 52054-2003, отмечается лишь у животных с генотипами ТТ, наблюдаемое различие между ними и особями с генотипом ТС составило 93,2 тыс./см³ (29,9%, $p < 0,05$) (Э.Р. Гайнутдинова, 2025).

Все вышеизложенное указывает на значительное влияние полиморфизма гена *GPX-1* на молочную продуктивность и качество молока голштинского скота. Коровы отечественной селекции с генотипом СС показали наибольший удой за полную и стандартную лактацию, при более высоком коэффициенте молочности и лучшими показателями продолжительности лактации, высоким рН и содержанием лактозы. Коровы гетерозиготного генотипа ТС имели высокое содержание массовой доли жира и низкое – соматических клеток. В зарубежном поголовье скота генотип ТТ ассоциирован с повышенной продуктивностью за полную лактацию и содержанием сухого вещества в молоке. Однако по удою за 305 дней стандартной лактации и жирномолочности превосходили особи с генотипом СС.

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

Изучение взаимосвязи молочной продуктивности коров с разными генотипами гена *PONI* в СХПК «ПЗ им. Ленина» показало (табл. 16), что животные генотипа GG характеризовались продолжительностью лактационного периода, превосходя коров с генотипом AA на 47,5 дн. (12,1%; $p < 0,01$), с генотипом GA на 55,5 дн. (14,2%; $p < 0,001$). По удою за полную лактацию преимущество особей с разными генотипами гена *PONI* имело достоверное различие между животными с генотипами GG и AA 1974,9 кг (20,8%; $p < 0,01$), с генотипами GG и GA – 2425,1 кг (25,5%; $p < 0,001$).

Самый высокий удой за первую стандартную лактацию (305 дн.) наблюдали у особей с генотипом GG по гену *PONI*. Он был выше, чем у гетерозиготных сверстниц, на 1370,9 кг (17,7%; $p < 0,001$), а по сравнению с животными с генотипом AA – на 1025,5 кг (13,2%; $p < 0,001$). По коэффициенту устойчивости лактации статистически значимой разницы между опытными группами не установлено, характер наблюдаемой тенденции имеет вид $GG > AA > GA$.

Максимальный коэффициент молочности отмечен у коров с генотипом GG – 1436,7. Достоверное различие по данному показателю между животными с генотипами GG и AA составило 207,2 (14,4%; $p < 0,001$), между особями с генотипами GG и GA – 255,3 (17,8%; $p < 0,001$).

Таблица 16 – Показатели молочной продуктивности коров с разными генотипами гена *PONI*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	AA (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***
Коэффициент устойчивости лактации	97,1 ± 2,58	96,9 ± 1,78	98,6 ± 1,75
Живая масса при 1 отеле, кг	546,2 ± 5,3	539,2 ± 4,1	538,8 ± 8,6
Коэффициент молочности	1229,5 ± 25,8	1181,4 ± 32,4	1436,7 ± 26,3***
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	AA (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*
Коэффициент устойчивости лактации	86,8 ± 2,8	93,3 ± 3,0	96,0 ± 4,1
Живая масса при 1 отеле, кг	495,8 ± 5,2	500,9 ± 3,5	496,8 ± 8,0
Коэффициент молочности	1449,7 ± 14,4	1565,8 ± 12,5***	1675,3 ± 16,2***

По этим же признакам были оценены коровы зарубежной селекции в КФХ «Мухаметшин 3.3.» Особи с генотипом AA гена *PONI* отличились максимальным количеством дойных дней, что статистически значимо превосходит показатель дойных дней коров с генотипом GG на 41,6 дн. (11,8%; $p < 0,001$). Также достоверная разница по этому признаку отмечена между животными с генотипами GA и GG – 33,0 дн. (33,0%; $p < 0,01$).

По удою за полную лактацию статистически значимых различий между опытными группами не выявлено, наблюдаемая тенденция представляет собой очередность выявленных значений $GA > GG > AA$.

Наиболее высоким удоем за 305 дн. лактации в данной популяции скота обладали коровы с генотипом GG. Статистически значимая разница по данному показателю по сравнению с животными с генотипом AA составила 1134,9 кг (13,6%; $p < 0,05$). Достоверная разница установлена между особями с генотипами GA и AA – 655,4 кг (8,4%; $p < 0,05$).

По коэффициенту устойчивости лактации при сравнении генетических групп статистической достоверности не наблюдается.

Коэффициент молочности у особей с генотипом GG находился на высоком уровне – 1675,3. Зафиксированная достоверная разница между животными с генотипами GG и AA составила 225,6 (13,5%; $p < 0,001$), с генотипами GG и GA составила 109,5 (6,5%; $p < 0,001$), с генотипами GA и AA – 116,1 (7,4%; $p < 0,001$).

Анализ влияния полиморфизма гена *PONI* на качественный состав молока коров отечественной селекции СХПК «ПЗ им. Ленина» показал, что наибольшим выходом молочного жира и белка характеризуются коровы-первотелки с генотипами GG. Это, в первую очередь, связано с повышенным уровнем их молочной продуктивности (табл. 17).

Таблица 17 – Показатели качественного состава молока коров с разными генотипами гена *PONI*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	AA (n = 47)	GA (n = 73)	GG (n = 28)
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***
Сумма молочного жира и белка, кг	472,1 ± 10,1	454,2 ± 9,9	545,7 ± 16,7***
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	AA (n = 77)	GA (n = 115)	GG (n = 39)
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***
Сумма молочного жира и белка, кг	494,5 ± 7,9	536,5 ± 6,3***	571,8 ± 9,7**,***

У животных с генотипом AA величины этих показателей были достоверно меньше соответственно на 39,9 кг (13,7%; $p < 0,001$) и 33,7 кг (13,2%; $p < 0,001$), у гетерозиготных особей – на 50,3 кг (17,3%; $p < 0,001$) и 41,2 кг (16,2%; $p < 0,001$) по выходу молочного жира и белка соответственно. Содержание массовой доли жира и массовой доли белка в опытной популяции коров СХПК «ПЗ им. Ленина» достоверных различий между группами с различными генотипами гена *PON1* не имело.

Наивысшая сумма молочного жира и белка зафиксирована у гомозиготных GG особей. Достоверное различие по данному показателю между животными с генотипами GG и AA составило 73,6 кг (13,5%; $p < 0,001$), с генотипами GG и GA – 91,5 кг (16,8%; $p < 0,001$).

Результаты анализа связи качественных показателей молока с аллельными вариантами *PON1* коров КФХ «Мухаметшин 3.3.», представленные в таблице 18, указывают на то, что особи GG-типа характеризовались высоким значением массовой доли жира. Достоверная разница между животными с генотипами GG и GA составила 0,21% (5,51 п.п.; $p < 0,05$), с генотипами AA и GA – 0,14% (3,74 п.п.; $p < 0,05$).

Максимальная массовая доля белка в молоке зафиксирована у гетерозиготных коров GA – 3,24%. Она была выше, чем у сверстниц с генотипом AA, на 0,10% (3,09 п.п.; $p < 0,05$), с генотипом GG на 0,18% (5,56 п.п.; $p < 0,001$).

Превосходство по выходу молочного жира установлено у животных с генотипом GG. Статистически значимая разница по данному показателю с особями, имеющими генотип AA, составила 48,3 кг (15,2%; $p < 0,001$), а генотип GA – 34,7 кг (15,2%; $p < 0,001$).

У коров зарубежной селекции отмечался статистически значимый высокий выход молочного белка с генотипом GG и составил 29,0 кг (11,4%; $p < 0,001$) по сравнению с особями, имеющими генотип AA. Также выявлено достоверное различие по этому показателю между животными с генотипами GA и AA – 28,4 кг (11,2%, $p < 0,001$).

Наблюдаемое достоверное различие по уровню суммы молочного жира и белка между группами коров с генотипами GG и AA составило 77,3 кг (13,5%; $p < 0,001$), с генотипами GG и GA – 35,3 кг (6,2%; $p < 0,01$), с генотипами GA и AA – 42,0 кг (7,8%; $p < 0,001$).

Физико-химические свойства молока коров отечественной и зарубежной селекции представлены в таблице 18. В СХПК «ПЗ им. Ленина» показатели pH молока коров с генотипами AA и GA имеют одинаковые значения – 6,58. По показателю лактозы, сухого вещества, β -гидроксибутирата и ацетона статистически значимой разницы между опытными группами не выявлено.

Таблица 18 – Результаты исследований физико-химических показателей молока коров с разными генотипами гена *PON1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	AA (n = 47)	GA (n = 73)	GG (n = 28)
pH	6,58 ± 0,01	6,58 ± 0,01	6,59 ± 0,01
Лактоза, %	4,63 ± 0,03	4,61 ± 0,03	4,66 ± 0,05
СОМО, %	8,98 ± 0,04**	8,95 ± 0,03***	8,81 ± 0,05
Сухое вещество, %	12,40 ± 0,09	12,43 ± 0,09	12,45 ± 0,10
Мочевина, моль/л	45,10 ± 0,58***	39,98 ± 0,73	44,67 ± 0,75***
β -гидроксибутират, ммоль/л	0,057 ± 0,009	0,055 ± 0,004	0,054 ± 0,005
Ацетон, ммоль/л	0,094 ± 0,008	0,095 ± 0,006	0,079 ± 0,010
Соматические клетки, тыс./см ³	249,8 ± 24,1**	259,2 ± 41,6*	141,8 ± 30,7
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	AA (n = 77)	GA (n = 115)	GG (n = 39)
pH	6,55 ± 0,01	6,56 ± 0,01*	6,53 ± 0,01
Лактоза, %	4,86 ± 0,02*	4,79 ± 0,02	4,80 ± 0,03
СОМО, %	9,16 ± 0,04***	9,21 ± 0,03***	8,96 ± 0,02
Сухое вещество, %	10,97 ± 0,19**	11,48 ± 0,13*,***	10,20 ± 0,15
Мочевина, моль/л	31,12 ± 0,84	31,70 ± 0,52	29,94 ± 1,14
β -гидроксибутират, ммоль/л	0,006 ± 0,002	0,004 ± 0,001	0,013 ± 0,002*,***
Ацетон, ммоль/л	0,009 ± 0,003	0,000	0,000
Соматические клетки, тыс./см ³	322,9 ± 28,2***	404,1 ± 50,8***	108,1 ± 37,4

Максимальный сухой обезжиренный молочный остаток зафиксирован у животных с генотипом AA. Он был выше, чем у сверстниц с генотипом GG на 0,17% (1,89 п.п.; $p < 0,01$). Также СОМО у коров с генотипом GA был достоверно выше, чем у гомозиготных GG особей, на 0,14% (1,56 п.п.; $p < 0,001$).

Наибольший показатель мочевины в молоке, значительно превышающий физиологическую норму, установлен у животных с генотипом AA – 45,10 моль/л. Достоверное различие по этому показателю отмечено между группами коров с генотипами AA и GA – 5,12 моль/л (11,4%; $p < 0,001$), и с генотипами GG и GA – 4,69 моль/л (10,5%; $p < 0,001$).

Разница по количеству соматических клеток в молоке наблюдается между особями с генотипами GA и GG – 117,4 тыс./см³ (45,3%; $p < 0,05$) и между животными с генотипами AA и GG – 108,0 тыс./см³ (43,2%; $p < 0,01$). Стоит отметить, что минимальное содержание соматических клеток, не превышающее референтное значение, имеют только животные отечественной селекции с генотипом GG гена *PON1*.

Анализ физико-химических свойств молока коров различных генетических групп зарубежной селекции КФХ «Мухаметшин 3.3.» показал статистически достоверную разницу по уровню pH между животными с генотипами GA и GG – 0,03 (0,5%; $p < 0,05$).

Особи с генотипом AA имели максимальное содержание лактозы. Достоверное различие между коровами с генотипами AA и GA составило 0,07% (1,40 п.п.; $p < 0,05$).

Показатель СОМО в молоке был на высоком уровне у коров с генотипом GA. Достоверная разница зафиксирована между животными с генотипами GA и GG – 0,25% (2,71 п.п.; $p < 0,001$), генотипами AA и GG – 0,2% (2,18 п.п.; $p < 0,001$).

По содержанию сухого вещества преимущество особей с разными генотипами гена *PON1* имело достоверное различие между генотипами GA и AA – 1,28% (11,15 п.п.; $p < 0,001$), и генотипами AA и GG – 0,77% (7,11 п.п.; $p < 0,01$).

По уровню мочевины в молоке достоверных различий между опытными группами и отклонений от нормы не было зафиксировано, характер наблюдаемой тенденции имеет следующий вид $AA < GA > GA$.

Показатель β -гидроксибутирата в исследуемом поголовье скота зарубежной селекции был максимальным у коров с генотипом GG – 0,013 ммоль/л. Достоверная разница по данному показателю по сравнению с животными с генотипами AA составила 0,007 ммоль/л (53,8%, $p < 0,05$), с генотипами GA – 0,009 ммоль/л (69,2%, $p < 0,001$).

Ацетон в молоке был обнаружен только у особей с генотипом AA – 0,009 ммоль/л.

Наибольшее количество соматических клеток в молоке, как и в популяции коров отечественной селекции, наблюдалось у коров с генотипом GA. Достоверное различие, по сравнению с особями с гомозиготным генотипом GG, с установленным минимальным показателем, составило 296,0 тыс./см³ (73,2%, $p < 0,001$). По данному показателю также была отмечена статистически значимая разница между животными с генотипами AA и GG на уровне 214,8 тыс./см³ (66,5%, $p < 0,001$) (N. Safina et al., 2021).

Таким образом, проведенные исследования показали значительное влияние полиморфизма гена *PON1* на молочную продуктивность и качество молока коров отечественной и зарубежной селекции. Наибольшие показатели удоя, продолжительности лактации, выхода молочного жира и белка отмечены у животных с генотипом GG, что указывает на их генетическое превосходство. При этом у коров зарубежной селекции с генотип AA наблюдалась максимальная продолжительность дойного периода, а у гетерозиготных GA-особей – повышенное содержание белка в молоке. Физико-химические свойства молока также варьировали в зависимости от генотипа гена *PON1*.

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

Мониторинг показателей продуктивных качеств поголовья СХПК «ПЗ им. Ленина» показал, что коровы с генотипом *СС* имели более продолжительную (длиннее на 6,7 дн. или 1,9%) первую лактацию, но с удоём, незначительно уступающим – на 76,2 кг (1,0%), продуктивности особей с генотипом *ТС* (табл. 19). За стандартную 305-дн. лактацию превосходство так же установлено у животных гетерозиготного *ТС*-типа, чей удоёй на 357,6 кг (или 5,2%; $p < 0,05$) был больше, чем количество молока, полученного от коров с генотипом *СС*.

Таблица 19 – Показатели молочной продуктивности коров с разными генотипами гена *FGF21*

<i>СХПК «ПЗ им. Ленина»</i>			
Показатель	<i>СС</i> (n = 42)	<i>ТС</i> (n = 106)	<i>ТТ</i> (n = 0)
Дойные дни, дн.	355,1 ± 4,6	348,4 ± 3,4	
Удоёй за полную лактацию, кг	7644,4 ± 154,8	7720,6 ± 130,6	
Удоёй за 305 дней, кг	6493,5 ± 116,5	6851,1 ± 127,6*	
Коэффициент устойчивости лактации	95,1 ± 1,8	98,9 ± 1,5	
Живая масса при 1 отеле, кг	543,1 ± 3,0	540,5 ± 3,5	
Коэффициент молочности	1195,6 ± 14,7	1267,5 ± 18,1**	
<i>КФХ «Мухаметшин 3.3.»</i>			
Показатель	<i>СС</i> (n = 60)	<i>ТС</i> (n = 152)	<i>ТТ</i> (n = 49)
Дойные дни, дн.	358,0 ± 3,1***	354,2 ± 2,7***	337,1 ± 4,3
Удоёй за полную лактацию, кг	7483,4 ± 161,3	8212,8 ± 125,6***	8731,3 ± 158,3***
Удоёй за 305 дней, кг	7186,8 ± 157,6	7255,9 ± 185,2	7917,9 ± 160,1**
Коэффициент устойчивости лактации	92,2 ± 1,1	95,4 ± 1,5	96,1 ± 2,1
Живая масса при 1 отеле, кг	495,0 ± 3,3	500,9 ± 4,8	519,3 ± 7,9*,**
Коэффициент молочности	1451,9 ± 18,2	1448,6 ± 15,1	1524,7 ± 20,4**,**

Коэффициент устойчивости лактации был выше на 3,8 у коров с генотипом *ТС*, но эта разница имела характер тенденции. По коэффициенту молочности, демонстрирующего, сколько килограмм молока приходится на 100 кг живой

массы коровы, выгодно отличались первотелки с генотипом ТС. Статистически значимое различие по этому показателю составило 71,9 (5,7%; $p < 0,01$).

Достоверно удлиненную полную лактацию имели коровы в популяции скота зарубежной селекции КФХ «Мухаметшин 3.3.» с генотипами СС и ТС, превышающую дойные дни особей с генотипом ТТ на 20,9 и 17,1 дн. (или 5,8 и 4,8 %; $p < 0,001$) соответственно.

В то же время наблюдается снижение продуктивности за полную и стандартную лактацию в разрезе генетических групп, имеющую направление – $ТТ > ТС > СС$. Статистически значимая наблюдаемая разница ($p < 0,001$) за полную лактацию находилась на уровне 1247,9 кг (14,3%) между особями с генотипами ТТ и СС, для животных с генотипами ТС и СС она составила 729 кг (8,9%), а между коровами, имеющими генотипы ТТ и ТС – 518,5 кг (5,9%; $p < 0,01$). За стандартную лактацию разрыв по молочной продуктивности зафиксирован на уровне 731,1 и 662,0 кг (9,2 и 8,4 %; $p < 0,01$) между максимальным показателем у животных с генотипом ТТ и отстающими особями СС и ТС-типов. Как и в популяции отечественной селекции, в поголовье зарубежного скота коэффициент устойчивости лактации достоверного различия в разрезе полиморфных вариантов по гену *FGF21* не имел. Высоким коэффициентом молочности характеризовались первотелки с генотипом ТТ, превышая этот показатель у коров с генотипом ТС на 76,1 (5,0%; $p < 0,01$), а с генотипом СС на 72,8 (4,8%; $p < 0,01$).

Анализ качественного состава молока подопытных коров показал (табл. 20), что коровы СХПК «ПЗ им. Ленина» с генотипом СС имели больший показатель по содержанию массовой доли жира и белка.

По выходу молочного жира и белка, а также по их сумме выгодно отличались животные с генотипом ТС. Достоверная разница по выходу молочного белка зафиксирована между особями с генотипами ТС и СС – 11,3 кг (4,9%, $p < 0,05$).

В ходе изучения качественного состава молока коров КФХ «Мухаметшин 3.3.» получены данные, свидетельствующие о том, что животные с генотипами ТС и ТТ имели одинаковые показатели массовой доли жира – 3,62%.

Достоверная разница между особями с генотипами ТТ и СС составила – 0,26% (7,18 п.п.; $p < 0,001$), с генотипами также ТС и СС – 0,26% (7,18 п.п.; $p < 0,001$).

Таблица 20 – Показатели качественного состава молока коров с разными генотипами гена *FGF21*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	СС (n = 42)	ТС (n = 106)	ТТ (n = 0)
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*	
Сумма молочного жира и белка, кг	453,9 ± 10,6	477,5 ± 14,0	
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	СС (n = 60)	ТС (n = 152)	ТТ (n = 49)
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***
Сумма молочного жира и белка, кг	465,0 ± 8,1	492,7 ± 6,6	536,8 ± 9,3**,***

По содержанию массовой доли белка между опытными группами коров статистически достоверных различий не было выявлено.

Максимальный выход молочного жира установлен у животных с генотипом ТТ. Достоверная разница по этому показателю со сверстницами, имеющими генотип ТС, составила 23,9 кг (8,3%, $p < 0,01$), генотип СС – 45,1 кг (15,7%, $p < 0,001$). Между группами коров с генотипами ТС и СС зафиксировано статистическое различие 21,2 кг (8,1%, $p < 0,01$).

По выходу молочного белка преимущество было у особей с генотипом ТТ. Наблюдаемое различие, по сравнению с первотелками с гетерозиготным генотипом ТС, составило 20,2 кг (8,1%, $p < 0,001$), с гомозиготным генотипом СС – 26,7 кг (10,7%, $p < 0,001$).

Показатель суммы молочного жира и белка был выше у опытной группы с генотипом ТТ. Достоверная разница между группами с генотипами ТТ и ТС

составила 44,1 кг (8,2%, $p < 0,001$), с генотипами ТТ и СС – 71,8 кг (13,4%, $p < 0,001$), с генотипами ТС и СС – 27,7 кг (5,6%, $p < 0,01$) соответственно (Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина, 2024).

Исследование физико-химических свойств молока коров СХПК «ПЗ им. Ленина» показало (табл. 21), что максимальным содержанием в молоке лактозы, СОМО и сухого вещества обладают коровы с генотипом ТС. У этой же группы установлен высокий уровень рН.

Таблица 21 – Результаты исследований физико-химических показателей молока коров с разными генотипами гена *FGF21*

<i>СХПК «ПЗ им. Ленина»</i>			
Показатель	<i>СС</i> (n = 42)	<i>ТС</i> (n = 106)	<i>ТТ</i> (n = 0)
рН	6,57 ± 0,01	6,59 ± 0,01	
Лактоза, %	4,60 ± 0,02	4,63 ± 0,01	
СОМО, %	8,94 ± 0,05	8,96 ± 0,03	
Сухое вещество, %	12,41 ± 0,10	12,42 ± 0,07	
Мочевина, моль/л	44,91 ± 0,67	44,60 ± 0,41	
β-гидроксibuтират, ммоль/л	0,056 ± 0,004	0,055 ± 0,003	
Ацетон, ммоль/л	0,099 ± 0,003**	0,090 ± 0,001	
Соматические клетки, тыс./см ³	235,5 ± 43,1	197,9 ± 26,8	
<i>КФХ «Мухаметшин 3.3.»</i>			
Показатель	<i>СС</i> (n = 60)	<i>ТС</i> (n = 152)	<i>ТТ</i> (n = 49)
рН	6,54 ± 0,01	6,57 ± 0,01*	6,58 ± 0,01*
Лактоза, %	4,82 ± 0,02	4,81 ± 0,02	4,90 ± 0,02**
СОМО, %	9,10 ± 0,04	9,19 ± 0,03	9,24 ± 0,02**
Сухое вещество, %	10,60 ± 0,22	11,38 ± 0,11**	11,17 ± 0,30
Мочевина, моль/л	30,81 ± 0,61	31,48 ± 0,53	31,18 ± 0,58
β-гидроксibuтират, ммоль/л	0,010 ± 0,002*,**	0,005 ± 0,001	0,003 ± 0,001
Ацетон, ммоль/л	0,008 ± 0,003	0,000	0,000
Соматические клетки, тыс./см ³	394,5 ± 10,9***	412,8 ± 61,6***	119,8 ± 6,2

Представительницы с генотипом СС имели высокие показатели мочевины, β-гидроксibuтирата, ацетона и соматических клеток в молоке. Статистически значимое различие по физико-химическому составу выявлено лишь по уровню

ацетона в молоке. Установленная разница составила 0,009 ммоль/л (9,1%, $p < 0,01$) между особями с генотипами СС и ТС.

Результаты опыта показали, что в молоке коров с разными генотипами гена *FGF21* КФХ «Мухаметшин 3.3.» значимые различия по физико-химическим свойствам наблюдаются по всем оцениваемым показателям, за исключением содержания мочевины, хотя ее уровень в пробах был выше физиологических норм.

В популяции зарубежной селекции по уровню рН в молоке установлена достоверная разница между животными с генотипами ТТ и СС – 0,04 (0,6%, $p < 0,05$), с генотипами ТС и СС – 0,03 (0,5%, $p < 0,05$).

Высоким уровнем лактозы характеризовались коровы с генотипом ТТ, превышая этот показатель у особей с генотипом СС на 0,08% (1,63 п.п.; $p < 0,01$), а с генотипом ТС на 0,09% (1,84 п.п.; $p < 0,01$).

По показателю СОМО преимущество было у особей с генотипом ТТ. Наблюдаемое различие, по сравнению с животными с гомозиготным генотипом СС, составило 0,14% (1,52 п.п.; $p < 0,01$).

Максимальное сухое вещество в молоке зафиксировано у коров с генотипом ТС. Достоверная разница по этому показателю со сверстницами, имеющими генотип СС, составила 0,78% (6,85 п.п.; $p < 0,01$).

Уровень β -гидроксibuтирата в исследуемом поголовье скота был наибольшим у животных с генотипом СС – 0,010 ммоль/л. Достоверное различие по данному показателю по сравнению с особями с генотипами ТС достигло 0,005 ммоль/л (50%, $p < 0,05$), с генотипами ТТ – 0,007 ммоль/л (70%, $p < 0,01$).

Показатель ацетона в молоке был на высоком уровне у коров с генотипом СС – 0,008 ммоль/л. У коров других генетических групп ацетона в молоке не выявлено.

По количеству соматических клеток в молоке у особей с разными генотипами гена *FGF21* худшим показателем характеризовались ТС и СС животные, достоверное различие между особями с генотипами ТС и ТТ составило 293,0 тыс./см³ (71%; $p < 0,001$), с генотипами СС и ТТ – 274,7 тыс./см³ (69,6%; $p < 0,001$).

Вышеизложенные результаты свидетельствуют о том, что полиморфизм гена *FGF21* оказывает существенное влияние на продуктивные качества

молочного скота. Установлено, что аллель Т – генотип ТС (отечественная популяция) и генотип ТТ (зарубежная популяция), ассоциирован с большим удоем за полную лактацию и коэффициентом молочности, также продуктивностью за 305 дн. лактации, массовой долей жира, высоким выходом молочного жира и белка, повышенным содержанием лактозы и СОМО, и незначительным количеством соматических клеток в молоке. При этом наблюдалась увеличенная концентрация показателей кетоновых тел и соматических клеток у коров с генотип СС, что может указывать на снижение адаптивной способности.

2.2.3 Оценка воспроизводительных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

Оценка воспроизводительных качеств и репродуктивной способности (фертильности) коров лежит в основе комплексного подхода по раскрытию наследственных возможностей поголовья и улучшению племенных и продуктивных характеристик. Изучение этих показателей позволяет выявить ключевые закономерности воспроизводства стада, включая возраст первого осеменения, продолжительность сервис-периода, межотельного интервала, индекса осеменения и процент успешных оплодотворений, что дает возможность объективно оценить репродуктивный потенциал животных. Особое значение имеет выявление взаимосвязей между репродуктивными качествами и молочной продуктивностью, поскольку высокая удойность часто сопровождается снижением плодовитости, что требует поиска оптимального баланса при селекции. В конечном итоге, такая комплексная оценка позволяет повысить экономическую эффективность молочного скотоводства за счет сокращения непроизводительных периодов, увеличения выхода телят и продления продуктивного долголетия коров.

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

Для оценки воспроизводительной способности животных СХПК «ПЗ им. Ленина» нами проведены исследования, которые показывают наличие связей между признаками и полиморфизмом гена *GPX-1* (табл. 22).

Ранний возраст первого плодотворного осеменения установлен у группы особей с генотипом ТС гена *GPX-1*. Разница с животными, имеющими другие генотипы, по этому показателю составила: между первотелками с генотипами ТС и СС – 0,2 мес. (1,2%), между первотелками с генотипами ТС и ТТ – 0,7 мес. (4,0%). Максимальную живую массу при первом плодотворном осеменении, но

без статистической значимости, имели коровы-первотелки с генотипом ТТ (420,9 кг) (Н.Ю. Сафина, 2021).

Таблица 22 – Показатели воспроизводительных качеств коров с разными генотипами гена *GPX-1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	СС (n = 30)	ТС (n = 89)	ТТ (n = 29)
Возраст 1 осеменения, мес.	17,7 ± 0,04	17,5 ± 0,3	18,8 ± 0,5*
Возраст 1 плод. осеменения, мес.	17,8 ± 0,5	17,7 ± 0,3	19,0 ± 0,6
Живая масса при 1 осем., кг	412,0 ± 4,8	416,2 ± 2,9	427,6 ± 6,1*
Живая масса при 1 плод. осем., кг	413,0 ± 5,1	418,7 ± 3,0	428,4 ± 6,3
Кратность осеменения	1,03 ± 0,03	1,07 ± 0,03	1,03 ± 0,03
Живая масса при 1 отеле, кг	536,9 ± 4,9	540,4 ± 4,3	549,1 ± 6,8
Сухостойный период, дн.	64,4 ± 6,9	54,2 ± 1,6	55,8 ± 2,0
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 коров, гол.	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 «Мухаметшин 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
Кратность осеменения	1,08 ± 0,03	1,15 ± 0,02	1,20 ± 0,05*
Живая масса при 1 отеле, кг	493,9 ± 4,3	501,6 ± 4,2	494,0 ± 5,4
Сухостойный период, дн.	48,5 ± 2,2	46,5 ± 1,2	49,7 ± 2,7
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 коров, гол.	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

Наибольшая продолжительность сухостойного, межотельного и сервис-периодов наблюдается у животных с генотипом СС. По результатам исследования получено, что значительно превышающим физиологические сроки сервис-периодом, характеризуются особи с генотипом СС гена *GPX-1*, на 42,8 дней (27,6%; $p < 0,05$) превосходящим этот период у животных генотипами ТТ. В отношении протяженности межотельного периода наблюдается увеличение этого

показателя у первотелок с генотипами СС. Достоверная разница между группами особей с генотипами СС и ТТ составила 45,6 дней (10,5%; $p < 0,05$).

В связи с удлинением этих периодов у коров-первотелок с генотипом СС, по этой группе животных наблюдается спад во всех расчетных показателях фертильности стада. Группа особей с генотипом ТТ, чьи данные по продолжительности сухостойного, межотельного и сервис-периодов были достоверно минимальны, имеют высокий коэффициент воспроизводительной способности и индекс плодовитости Дохи. Статистически значимая разница по КВС между группами с генотипами ТТ и СС – 0,10 (10,4%; $p < 0,05$), а группами с генотипами ТС и СС – 0,07 (7,5%; $p < 0,05$).

Сегодня средний период производственного использования коров в стране составляет примерно три лактации, а выход телят на 100 коров на сельскохозяйственных предприятиях в пределах 76–77 гол. По нашим данным наибольший выход телят зафиксирован у первотелок с генотипом ТТ – 86,8 гол., который превалирует над выходом телят у первотелок с генотипами ТС и СС на 2,7 гол. (3,1%) и 7,9 гол. (9,1%) соответственно.

По индексу плодовитости Дохи преимущество коров с разными генотипами гена *GPX-1* имело достоверное различие между животными с генотипами ТТ и СС – 2,6 пункта (4,6%; $p < 0,05$). В целом, в оцениваемом поголовье отечественного скота этот показатель отмечен на высоком уровне, что свидетельствует о высокой фертильности изучаемого скота.

Мониторинг репродуктивных качеств поголовья коров зарубежной селекции КФХ «Мухаметшин 3.3.» показал, что ранний возраст первого плодотворного осеменения был зафиксирован у группы особей с генотипом ТС гена *GPX-1*. Разница с животными, имеющими другие генотипы, по этому показателю составила между животными с генотипами ТС и СС – 0,4 мес., между первотелками с генотипами ТС и ТТ – 0,1 мес. Максимальную живую массу при первом плодотворном осеменении имели коровы с генотипом СС – 385,1 кг, но в сравнении с другими группами животных этот показатель не имел статистической значимости.

Наибольшее количество осеменений установлено у животных с генотипом ТТ. Статистически значимая разница по этому показателю по отношению к сверстницами, имеющими генотип ТС, была на уровне 4,2% ($p < 0,05$), а имеющим генотип СС – 10,0% ($p < 0,05$). Незначительные различия по продолжительности сухостойного периода – 3,2 дня отмечались между коровами с генотипами ТТ и ТС, и разница 1,2 дня – между группами особей с генотипами ТТ и СС. Достоверно продолжительным сервис-периодом характеризуются особи с генотипом ТТ, различие по этому показателю между группами животных с генотипами ТС составило 6,96, а с генотипами СС – 16,46 дней (соответственно 5,9 и 13,9 %, $p < 0,05$). Коровы, имеющие генотип ТТ гена *GPX-1*, в нашем исследовании характеризовались также наибольшей протяженностью межотельного периода. Разница этого показателя достоверно доходила до 9,8 и 31,7 дней (2,4 и 7,8 %, $p < 0,05$) между лидирующей группой и животными с генотипами ТС и СС соответственно.

Выход живых телят на 100 гол. коров с генотипом СС был больше на 3,4 гол. (3,7%, $p < 0,01$), чем у особей с генотипом ТС, и на 5,8 гол. (6,3%, $p < 0,01$), чем ТТ. Коэффициент воспроизводительной способности коров, не смотря на высокое значение у группы с генотипом СС (0,98), не имел достоверности при сравнении показателей животных в разрезе полиморфизма гена *GPX-1*. Установлено, что индекс Дохи статистически выше у коров с генотипом СС, чем у животных с генотипом ТС на 1,0 ед. (2,0%, $p < 0,05$) и на 1,8 ед. (3,6%, $p < 0,05$), чем у гомозиготных животных ТТ-типа (Э.Р. Гайнутдинова и др., 2020а).

Таким образом, исследованиями установлена значимая связь полиморфизма гена *GPX-1* с воспроизводительными качествами голштинского скота. Установлено, что коровы отечественной селекции с генотипом ТТ демонстрируют оптимальные репродуктивные показатели: минимальную продолжительность сервис- и межотельного периодов, высокий КВС, максимальный и выход телят. В то время как особи с генотипом СС характеризуются удлинёнными репродуктивными периодами и сниженной фертильностью. В зарубежной

популяции лучшие показатели плодовитости отмечены у животных СС-типа, что указывает на популяционные различия и проявление генетических эффектов.

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

Первотелки СХПК «ПЗ им. Ленина» с генотипом GA отличались самым ранним возрастом первого плодотворного осеменения, опережая сверстниц на 0,7 мес. (табл. 23). В этой же группе отмечена наименьшая живая масса при первом осеменении.

Наивысшее значение этого показателя в указанный период была у особей, несущих по локусу гена *PONI – Bsc4 I* гомозиготный аллель А – 422,6 кг. Она была выше, чем у телок с генотипом GG, на 2,3 кг (0,5%), с генотипом GA – на 9,5 кг (2,2%; $p < 0,05$).

Протяженность сервис-периода у коров с генотипом GG значительно превышала физиологическую норму (80 дн.) и была больше, чем у гетерозиготных животных, на 49,5 дн. (28,9%; $p < 0,05$), по сравнению с особями с генотипом AA – на 46,1 дн. (26,9%; $p < 0,05$).

Продолжительность межотельного периода у подопытных коров-первотелок варьировала от 395,7 до 448,3 дн., вместо желательных 365 дн. У животных с генотипом GG она была достоверно выше, чем у гетерозиготных особей, на 52,6 дн. (30,7%; $p < 0,05$), по сравнению с первотелками с генотипом AA – на 43,6 дн. (9,7%; $p < 0,05$). P.A. Silvera et al. ранее отмечали наименьшую активность параоксоназы-1 в сыворотке крови гетерозиготных (GA) коров. У этих же животных наблюдали наименьшую длительность межотельного периода, а самым продолжительным он был у особей с генотипом GG (P.A.S Silvera et al., 2019).

По кратности осеменения у коров отечественной селекции зафиксирована статически достоверная разница между результативными оплодотворениями животных с генотипами GG и GA – 0,13 раз (11,4%; $p < 0,05$).

Таблица 23 – Показатели воспроизводительных качеств коров с разными генотипами гена *PON1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	AA (n = 47)	GA (n = 73)	GG (n = 28)
Возраст 1 осеменения, мес.	17,7 ± 0,5	17,0 ± 0,2	17,7 ± 0,7
Возраст 1 плод. осеменения, мес.	17,8 ± 0,5	17,1 ± 0,3	17,8 ± 0,6
Живая масса при 1 осем., кг	416,5 ± 3,4	408,2 ± 3,4	418,1 ± 5,9
Живая масса при 1 плод. осем., кг	422,6 ± 3,6*	413,1 ± 3,2	420,3 ± 6,6
Кратность осеменения	1,07 ± 0,04	1,01 ± 0,01	1,14 ± 0,06*
Живая масса при 1 отеле, кг	546,2 ± 5,3	539,2 ± 4,1	538,8 ± 8,6
Сухостойный период, дн.	60,1 ± 1,9	54,7 ± 3,4	56,1 ± 1,4
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 коров, гол.	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	AA (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
Кратность осеменения	1,13 ± 0,03	1,10 ± 0,02	1,10 ± 0,05
Живая масса при 1 отеле, кг	495,8 ± 5,2	500,9 ± 3,5	496,8 ± 8,0
Сухостойный период, дн.	47,8 ± 1,3	48,1 ± 1,6	45,8 ± 2,8
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 коров, гол.	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***

По коэффициенту воспроизводительной способности статистических различий в разрезе сравниваемых групп генотипов не наблюдается.

Максимальным выходом телят на 100 гол. коров отличились особи с гомозиготным генотипом GA – 83,5 гол. Достоверная разница по этому показателю между животными с генотипами GA и GG составила 17,4 гол. (20,4%; $p < 0,001$), с генотипами AA и GG – 16,2 гол. (19,3%; $p < 0,001$).

Незначительная вариабельность индекса Дохи (52,3–56,2) в целом свидетельствует о высокой фертильности изучаемого поголовья. Наибольшая величина этого показателя отмечена у гетерозиготных по гену *PON1* особей, она

была достоверно выше, чем у первотелок с генотипом GG, на 3,9 (или 6,9%; $p < 0,05$) (Н.Ю. Сафина и др., 2020с).

Исследование этих же признаков воспроизводительной способности в популяции КФХ «Мухаметшин 3.3.» указывает на то, что у животных с гетерозиготным генотипом GA наблюдается самый ранний возраст первого плодотворного осеменения – 15,1 мес.

Живая масса особей с гомозиготным GG генотипом была незначительно выше показателя сверстниц с другими генотипами (на 2,3–3,0 кг) при первом плодотворном осеменении и составила 384,5 кг. Живая масса при первом отеле и сухостойный период, без статистической значимости, максимальные значения имели коровы с генотипом GA – 500,9 кг и 48,1 дн. соответственно.

Наибольшая продолжительность межотельного и сервис-периодов отмечается у животных с генотипом AA. По результатам сравнений по длительности сервис-периода зафиксирована статистическая разница между опытными группами AA и GG – 40,5 дн. (33,0%; $p < 0,001$), группами GA и GG – 30,0 дн. (26,7%; $p < 0,01$). По показателю межотельного периода наблюдается достоверное различие между особями с генотипами AA и GG – 44,3 дн. (11,0%; $p < 0,001$), с генотипами GA и GG – 37,4 дн. (9,5%; $p < 0,001$).

Показатель кратности осеменения в опытных группах был на уровне 1,10–1,13, что, в целом, свидетельствует о хорошей фертильности поголовья.

По расчетному выходу живых телят на 100 гол. коров с разными генотипами гена *PON1* отмечена статистическая разница между животными с генотипами GG и AA – 14,2 гол. (14,3%; $p < 0,001$), с генотипами GG и GA – 10,6 гол. (10,7%; $p < 0,01$), с генотипами GA и AA – 3,6 гол. (4,1%; $p < 0,001$).

Коэффициент воспроизводительной способности у особей с генотипом GG был больше, чем у животных с генотипом AA на 0,11 (10,8%; $p < 0,001$), и выше, чем у коров с генотипом GA – на 0,09 (8,8%; $p < 0,001$).

Высокий индекс Дохи наблюдался у животных с генотипом GG. Между группами коров с генотипами GG и AA по данному показателю зафиксирована

достоверная разница 2,45 (4,8%; $p < 0,01$), а между группами GG и GA – 1,69 (3,3%; $p < 0,05$).

Таким образом, выявлена зависимость репродуктивных показателей от генотипа гена *PONI*. В популяции отечественного скота гетерозиготные GA-особи демонстрировали лучшие воспроизводительные качества: минимальный возраст 1 плодотворного осеменения, наибольший выход телят при невысокой кратности осеменения, и наименьшую продолжительность сервис-периода. В поголовье зарубежной селекции преимущество было у гомозиготных GG-животных, показавших максимальный коэффициент воспроизводительной способности и индекс Дохи. При этом в обеих популяциях коровы генотипа GG характеризовались удлинёнными репродуктивными периодами.

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

Сведения, полученные в ходе изучения воспроизводительных качеств коров отечественной селекции СХКП «ПЗ им. Ленина», представлены в таблице 24. В опытной популяции животных чуть более ранний возраст 1 осеменения и 1 плодотворного осеменения имеют коровы с генотипом CC. Разница по этим признакам между коровами с генотипами TC и CC составила 0,7 мес. (3,9%) и 0,9 мес. (4,9%; $p < 0,05$) соответственно.

Такие хозяйственно-полезные признаки, как живая масса при 1 осеменении, 1 плодотворном осеменении и 1 отеле, имели незначительное различие без статистической значимости.

В популяции отечественного скота выход телят на 100 гол. коров, коэффициент воспроизводительной способности (КВС) и индекс Дохи по гену *FGF21* были немного выше у особей с генотипами TC. Однако, представленные данные не обладают статистически значимым различием и носят характер тенденции.

Таблица 24 – Показатели воспроизводительных качеств коров с разными генотипами гена *FGF21*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	СС (n = 42)	ТС (n = 106)	ТТ (n = 0)
Возраст 1 осеменения, мес.	17,3 ± 0,4	18,0 ± 0,2	
Возраст 1 плод. осеменения, мес.	17,4 ± 0,4	18,3 ± 0,2*	
Живая масса при осем., кг	413,8 ± 4,8	419,2 ± 2,1	
Живая масса при 1 плод. осем., кг	420,5 ± 5,1	422,3 ± 2,7	
Кратность осеменения	1,10 ± 0,05	1,04 ± 0,02	
Живая масса при 1 отеле, кг	543,1 ± 3,0	540,5 ± 3,5	
Сухостойный период, дн.	56,8 ± 3,1	56,7 ± 2,3	
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 коров, гол.	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
Кратность осеменения	1,16 ± 0,04	1,14 ± 0,03	1,20 ± 0,06
Живая масса при 1 отеле, кг	495,0 ± 3,3	500,9 ± 4,8	519,3 ± 7,9**,**
Сухостойный период, дн.	44,2 ± 1,9	48,4 ± 1,2	51,4 ± 2,5*
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 коров, гол.	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

Кратность осеменения была примерно на одинаковом уровне в пределах 1,04–1,10, без достоверности в различии.

По таким показателям, как сухостойный, межотельный и сервис-период наблюдается незначительная вариабельность в зависимости от генотипа, без отклонений от физиологических норм.

Анализ показателей, связанных с воспроизводством, в разрезе полиморфных вариантов гена *FGF21*, КФХ «Мухаметшин 3.3.» позволил выявить статистическое различие между опытными группами животных с генотипами ТТ и ТС – 1,1 мес. (6,8%; $p < 0,05$) по показателю возраст 1 плодотворного осеменения.

Максимальная живая масса при первом плодотворном осеменении наблюдалась у коров с генотипом СС, статистически значимо превосходящая уровень в группах с генотипами ТС и ТТ на 13,5 и 8,8 кг (3,4 и 2,0%; $p < 0,01$ и $p < 0,001$) соответственно.

Такие показатели как кратность осеменения, межотельный и сервис-периоды имели высокие значения у особей с генотипом ТТ в опытной популяции зарубежной селекции, без статистических различий.

Животные, имеющие генотип ТТ гена *FGF21*, характеризовались наибольшей живой массой при первом отеле. Разница достоверно доходила до 24,3 и 18,4 кг (4,7 и 3,5%; $p < 0,01$ и $p < 0,05$) по этому показателю у коров с генотипами СС и ТС.

Преобладание по сухостойному периоду было у особей с генотипом ТТ – 123,5 дн. Статистически значимое различие по этому показателю со сверстницами, имеющими генотип СС, составило 7,2 дн. (14,0%; $p < 0,05$).

Показатели выхода телят на 100 гол. коров и коэффициент воспроизводительной способности у животных с гетерозиготным генотипом ТС находились на высоком уровне, без статистически значимых различий.

По индексу Дохи преимущество установилось у коров с генотипом ТС. Наблюдаемое различие, по сравнению с особями с генотипом СС составило 2,1 (4,2%; $p < 0,001$), а с животными с генотипом ТТ – 2,4 (4,8%; $p < 0,05$).

Все вышеизложенное указывает на умеренное влияние полиморфизма гена *FGF21* на показатели воспроизводительной способности молочного скота. В отечественной популяции особи с генотипом СС ассоциировались с более ранним возрастом первого осеменения. При этом по ключевым репродуктивным параметрам статистически значимые различия не установлены. В популяции коров зарубежной селекции генотип ТС у животных проявил преимущество по таким качествам, как возраст первого осеменения, выход телят и индекс Дохи, а ТТ – по живой массе при первом отеле.

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

Своевременная оценка показателей динамики живой массы коров имеет принципиальное значение для эффективной селекционной работы, поскольку позволяет установить закономерности роста и развития животных на разных этапах онтогенеза и выявить взаимосвязь между скоростью набора массы и конечными продуктивными показателями. Такой анализ дает возможность определить оптимальные весовые параметры в различные возрастные периоды, что особенно важно для прогнозирования будущей молочной продуктивности, так как существует доказанная корреляция между динамикой роста телок и их последующими удоями. Мониторинг динамики живой массы помогает своевременно выявлять особей с отклонениями в развитии, что особенно важно при отборе животных в племенное ядро, поскольку оптимальная скорость роста является одним из ключевых показателей крепкой конституции и хорошего здоровья.

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

Показатели динамики живой массы коров двух популяций представлены в таблице 25. Максимальная живая масса при рождении была отмечена у телят с генотипом ТТ, разница по этому показателю между группами с генотипами ТТ и ТС составила 1,0 кг (3,6%), с генотипами ТТ и СС – 1,3 кг (4,0%).

Позже во время контрольных взвешиваний в 6 и 18 мес. наибольшую живую массу имели телки с гетерозиготным генотипом ТС. Эти показатели были выше на 0,8 кг (0,5%), 12,10 кг (2,9%) по сравнению с животными с генотипами СС, и превышали на 4,3 кг (2,5%), 4,6 кг (1,1%) по сравнению с коровами с генотипом ТТ. Наивысшая живая масса в 12 мес. наблюдалась у группы с

генотипом *СС*, которая превалирует над живой массой сверстниц с генотипом *ТС* и *ТТ* на 0,4 кг (0,1%) и 6,3 кг (2,0%) соответственно.

Таблица 25 – Показатели динамики живой массы коров с разными генотипами гена *GPX-1*

<i>СХПК «ПЗ им. Ленина»</i>				
Показатель		<i>СС</i> (n = 30)	<i>ТС</i> (n = 89)	<i>ТТ</i> (n = 29)
Живая масса, кг	при рождении	31,4 ± 0,9	31,7 ± 0,4	32,7 ± 0,8
	6 мес.	171,3 ± 3,8	172,1 ± 3,9	167,8 ± 4,0
	12 мес.	316,7 ± 5,5	316,3 ± 3,3	310,4 ± 7,4
	18 мес.	410,4 ± 6,5	422,5 ± 4,1	417,9 ± 8,8
Абсолютный прирост, кг	0...6 мес.	139,9 ± 4,3	140,4 ± 2,4	135,2 ± 4,8
	6...12 мес.	145,4 ± 4,0	144,2 ± 2,4	142,6 ± 5,3
	12...18 мес.	93,7 ± 5,1	106,2 ± 3,2*	107,5 ± 5,9
Среднесуточный прирост, г	0...6 мес.	777,2 ± 23,9	780,0 ± 13,3	751,1 ± 26,6
	6...12 мес.	807,8 ± 22,3	801,1 ± 13,4	792,2 ± 20,6
	12...18 мес.	520,6 ± 28,2	590,0 ± 17,7*	597,2 ± 32,8
	0...18 мес.	701,9 ± 22,1	723,7 ± 16,7	713,3 ± 25,5
<i>КФХ «Мухометшин 3.3»</i>				
Показатель		<i>СС</i> (n = 53)	<i>ТС</i> (n = 131)	<i>ТТ</i> (n = 47)
Живая масса, кг	при рождении	34,6 ± 0,8	36,2 ± 0,5	35,5 ± 0,8
	6 мес.	171,7 ± 2,8**	166,8 ± 1,9	159,3 ± 3,4
	12 мес.	340,7 ± 3,5**	332,7 ± 3,1	325,9 ± 4,4
	18 мес.	454,5 ± 5,2	461,8 ± 2,3	468,5 ± 5,7
Абсолютный прирост, кг	0...6 мес.	137,1 ± 2,0**,***	130,6 ± 1,4*	123,8 ± 2,7
	6...12 мес.	169,0 ± 0,7*	165,9 ± 0,9	166,6 ± 1,2
	12...18 мес.	113,8 ± 1,7	129,1 ± 0,7***	142,6 ± 1,3***
Среднесуточный прирост, г	0...6 мес.	761,7 ± 11,2**,***	725,6 ± 7,8*	687,8 ± 14,7
	6...12 мес.	938,9 ± 4,0*	921,7 ± 6,4	925,6 ± 5,4
	12...18 мес.	632,2 ± 9,2	717,2 ± 7,1***	792,2 ± 9,9***
	0...18 мес.	777,6 ± 8,2	788,1 ± 9,4	801,9 ± 9,1*

Абсолютный прирост живой массы от 0 до 6 мес. у телят с генотипом *ТС* был больше, чем у особей с генотипом *СС* на 0,5 кг (0,4%) и с генотипом *ТТ* на 5,2 кг (3,7%). По показателю абсолютного прироста от 6 до 12 мес. преимущество имели телята с гомозиготным генотипом *СС*, разница по данному показателю по сравнению с телятами с генотипом *ТС* составила 1,2 кг (0,8%), с генотипом *ТТ* –

2,8 кг (1,9%). Абсолютный прирост от 12 до 18 мес. у телят с генотипом ТС больше на 12,5 кг (11,5%; $p < 0,05$), чем у животных с генотипом ТТ.

Среднесуточный прирост живой массы от 0 до 6 мес. и от 0 до 18 мес. был максимальным у особей с генотипом ТС. Эти показатели были выше на 2,8 г (0,3%) и 21,8 г (3,0%) по сравнению с телятами с генотипом СС, и выше на 28,9 г (3,7%) и 10,4 г (1,4%) по сравнению с животными с генотипом ТТ соответственно.

Среднесуточный прирост от 6 до 12 мес. имел наивысшее значение у особей с генотипом СС. Различие по этому показателю по сравнению с телками с генотипом ТС составило 6,7 г (0,8 %), с генотипом ТТ – 15,6 г (1,9%). Статистическая разница по среднесуточному приросту от 12 до 18 мес. зафиксирована между животными с генотипами ТС и СС – 69,4 г (11,8%; $p < 0,05$).

Анализ динамики полученных результатов КФХ «Мухаметшин 3.3.» показал, что живая масса при рождении у телок с генотипом ТС была выше, чем у животных с генотипом СС и ТТ, на 1,6 кг (4,4%) и 0,7 кг (1,9 %) соответственно. Достоверно большей живой массой в 6 мес. характеризовались особи с генотипом СС по отношению к особям с генотипом ТТ и ТС. Различие по этому показателю составило 12,4 кг (7,2%; $p < 0,01$) и 4,9 кг (2,9%). Установлено, что у животных с генотипом СС статистически значимая высокая живая масса в 12 мес., которая по сравнению с особями генотипа ТТ больше на 14,8 кг (6,1%; $p < 0,01$). Наибольшая живая масса в 18 мес. наблюдается у телок с генотипом ТТ, у которых этот показатель был выше на 14,0 кг (3,0%) и 6,7 кг (1,4%), чем у особей с генотипами СС и ТС.

Телки с генотипом СС обладали наивысшим абсолютным приростом живой массы от 0 до 6 мес. Их превосходство по данному показателю над сверстницами с генотипом ТС составило 6,5 кг (4,7%; $p < 0,01$), а с генотипом ТТ – 13,3 кг (9,7%; $p < 0,001$). Достоверная разница по этому же показателю обнаружена между животными с генотипами ТС и ТТ – 6,8 кг (5,2%; $p < 0,05$). Абсолютный прирост от 6 до 12 мес. был максимальным у телят с генотипом СС. Достоверное различие по данному показателю, по сравнению с особями с генотипом ТС,

составило 3,1 кг (1,8%; $p < 0,05$). По показателю абсолютного прироста от 12 до 18 мес. зафиксирована статически достоверная разница между животными с генотипами ТТ и СС – 28,8 кг (20,2%; $p < 0,001$), с генотипами ТТ и ТС – 13,5 кг (9,5%; $p < 0,001$), с генотипами ТС и СС – 15,3 кг (11,9%; $p < 0,001$).

Наивысший среднесуточный прирост от 0 до 6 мес. отмечен у телят с генотипом СС, достоверное различие по этому показателю наблюдалось у животных с генотипом ТС – 36,1 г (4,7%; $p < 0,01$), с генотипом ТТ – 73,9 г (9,7%; $p < 0,001$). Между особями с генотипами ТС и ТТ по данному показателю статистическая разница составила 37,8 г (5,2%; $p < 0,05$). Животные с генотипом СС отличились максимальным среднесуточным приростом от 6 до 12 мес. Этот показатель был достоверно выше показателя среднесуточного прироста у телят с генотипом ТС на 17,2 г (1,8%; $p < 0,05$), с генотипом ТТ – 13,3 г (1,4%; $p < 0,05$). Самый высокий показатель среднесуточного прироста от 12 до 18 мес. имели животные с генотипом ТТ. Достоверное различие отмечено между группами особей с генотипами ТТ и СС – 160 г (20,2%; $p < 0,001$), с генотипами ТТ и ТС – 75,0 г (9,5%; $p < 0,001$), с генотипами ТС и СС – 85,0 г (11,9%; $p < 0,001$).

Среднесуточный прирост живой массы за период от 0 до 18 мес. статистически выше у животных с генотипом ТТ, чем у носителей генотипа СС на 24,3 г (3,0%; $p < 0,05$) (Э.Р. Гайнутдинова и др., 2025а).

Таким образом, у коров отечественной популяции преимущество по живой массе в различные возрастные периоды и по среднесуточному приросту демонстрировали животные гетерозиготного ТС и гомозиготного СС генотипов. В популяции скота зарубежной селекции явное превосходство по конечной живой массе и абсолютному приросту на заключительном этапе взвешиваний было зафиксировано у особей с генотипом ТТ, которые также показали наивысший среднесуточный прирост за весь период исследования. Эти данные свидетельствуют о том, что эффект генотипа не является постоянным и может существенно варьировать в разных популяциях, что обуславливает необходимость разработки селекционных программ с учетом конкретного генофонда и хозяйственных условий.

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

Живая масса, зафиксированная при рождении телок отечественной селекции в СХПК «ПЗ им. Ленина» с генотипом AA, несущественно превышала величину этого показателя у особей с генотипами GA и GG гена *PONI* соответственно на 0,6 и 0,3 кг, или 1,9 и 0,9 % соответственно (табл. 26).

Таблица 26 – Показатели динамики живой массы коров с разными генотипами гена *PONI*

СХПК «ПЗ им. Ленина»				
Показатель		AA (n = 47)	GA (n = 73)	GG (n = 28)
Живая масса, кг	при рождении	32,2 ± 0,8	31,6 ± 0,4	31,9 ± 0,7
	6 мес.	168,7 ± 3,8	173,8 ± 3,9	168,4 ± 4,0
	12 мес.	314,6 ± 4,9	317,4 ± 3,9	310,6 ± 5,9
	18 мес.	417,0 ± 6,8	421,3 ± 4,4	417,0 ± 6,2
Абсолютный прирост, кг	0...6 мес.	136,5 ± 3,7	142,2 ± 2,7	136,5 ± 4,1
	6...12 мес.	145,9 ± 3,4	143,6 ± 2,8	142,2 ± 4,5
	12...18 мес.	102,4 ± 4,9	103,8 ± 3,5	106,4 ± 5,1
Среднесуточный прирост, г	0...6 мес.	758,3 ± 20,5	790,0 ± 14,7	758,3 ± 22,9
	6...12 мес.	810,6 ± 18,7	797,8 ± 15,7	790,0 ± 25,3
	12...18 мес.	568,9 ± 27,1	576,7 ± 19,6	591,1 ± 28,4
	0...18 мес.	712,6 ± 22,1	721,5 ± 16,7	713,1 ± 25,5
КФХ «Мухаметшин 3.3.»				
Показатель		AA (n = 77)	GA (n = 115)	GG (n = 39)
Живая масса, кг	при рождении	35,4 ± 0,5	35,8 ± 0,4	35,6 ± 0,7
	6 мес.	167,3 ± 2,1*	169,0 ± 2,2**	157,3 ± 3,3
	12 мес.	334,8 ± 2,7***	340,0 ± 2,0**	313,4 ± 3,6
	18 мес.	451,0 ± 2,9***	472,6 ± 2,6***	434,0 ± 3,1
Абсолютный прирост, кг	0...6 мес.	131,9 ± 1,6***	133,2 ± 1,6***	121,7 ± 2,4
	6...12 мес.	167,5 ± 0,6***	171,0 ± 0,8***	156,1 ± 0,9
	12...18 мес.	116,2 ± 0,8	132,6 ± 0,4***	120,6 ± 0,8
Среднесуточный прирост, г	0...6 мес.	732,8 ± 9,0***	740,0 ± 9,1***	676,1 ± 10,6
	6...12 мес.	930,6 ± 3,4***	950,0 ± 4,6***	867,2 ± 4,7
	12...18 мес.	645,6 ± 4,5	736,7 ± 2,4***	670,0 ± 4,8***
	0...18 мес.	769,6 ± 2,6***	808,9 ± 3,7***	737,8 ± 3,5

При этом, например, по данным А.Г. Ji и соавт. достоверно наибольшей живой массой при рождении отличались телята мясных пород ангус, герефорд и симментал с генотипом GA (А.Г. Ji et al., 2008).

В дальнейшем во время контрольных взвешиваний в 6, 12 и 18 мес. максимальная живая масса была у телок с генотипом GA. Она превышала величину этого показателя у особей с генотипом AA соответственно на 5,1 кг, 2,8 и 4,3 кг, с генотипом GG – на 5,4 кг, 6,8 и 4,3 кг соответственно.

В интервале от 0 до 6 мес. наибольшие показатели абсолютного и среднесуточного прироста живой массы (142,2 кг и 790,0 г соответственно) отмечали у особей с генотипом GA, с 6 до 12 мес. – у животных с генотипом AA (145,9 кг и 810,6 г), с 12 до 18 мес. – у телок с генотипом GG (106,4 кг и 591,1 г). При этом во все периоды различия между группами были недостоверны.

В среднем наибольший среднесуточный прирост живой массы с рождения до 18 месячного возраста отмечали у гетерозиготных нетелей. Это соответствует результатам, представленным ранее для пород ангус и симментал (А.Г. Ji et al. 2008). Следует отметить, что в наших исследованиях статистически значимых различий по показателям живой массы в популяции коров отечественной селекции СХПК «ПЗ им. Ленина» между группами различных генотипов гена *PON1* не установлено (Н.Ю. Сафина и др., 2020).

В популяции коров зарубежной селекции телки с генотипом GA имеют большую живую массу при рождении, чем особи с другими генотипами, а особи GG-типа на протяжении всех контрольных взвешиваний демонстрировали худшие значения.

Максимальная живая масса в 6 мес. зафиксирована у телок с генотипом GA. Статистические различия по этому показателю отмечены между животными с генотипами GA и GG – 11,7 кг (6,9%; $p < 0,01$), с генотипами AA и GG – 10,0 кг (6,0%; $p < 0,05$). Особи с генотипом GA также отличились наивысшей живой массой в 12 мес. Статистически значимая наблюдаемая разница между группами с генотипами GA и GG составила 26,6 кг (7,8%; $p < 0,001$), с генотипами AA и GG – 21,4 кг (6,4%; $p < 0,001$). По показателю живой массы в 18 мес. преимущество

также было у особей с генотипом GA. Статистически значимое различие по этому показателю –21,6 кг (4,6%; $p < 0,001$) отмечали между животными с генотипами GA и AA, а с генотипами GA и GG – 38,6 кг (8,2%; $p < 0,001$), с генотипами AA и GG – 17 кг (3,8%; $p < 0,001$).

Существенную динамику наблюдалась в показателях абсолютного (кг) и среднесуточного (г) прироста живой массы. В период с рождения и до 12 мес. значительные различия ($p < 0,001$) установлены между субпопуляциями, имеющими генотипы GA и GG гена *PON1* – 11,5 и 14,9 кг абсолютного или 63,9 и 82,8 г среднесуточного прироста живой массы соответственно. К 18 мес. развития зафиксирован сдвиг уровня прироста AA-особей в сторону ухудшения. По сравнению с животными генотипа GA, их показатель был ниже на 16,4 кг абсолютного прироста или 91,1 г среднесуточного ($p < 0,001$). Эти данные находят подтверждение в работе, проведенной на популяциях скота мясного и комбинированного направления продуктивности, где так же выдающиеся показатели живой массы были установлены у гетерозиготных особей (A.G. Ji et al., 2008; Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина, 2024а).

Из всего вышесказанного можно заключить, что существует выраженные различия в характере влияние гена *PON1* на рост и развитие коров отечественной и зарубежной селекции. В отечественной популяции статистически значимой разницы между показателями животных разных генотипов не установлено, хотя тенденция по преимуществу гетерозигот GA по живой массе и динамике приростов сохраняется. В отличие от этого, в популяции скота зарубежной селекции особи с генотипом GA демонстрировали стабильно и достоверно более высокие показатели на всех этапах контроля, в то время как животные гомозиготного типа GG отставали в развитии.

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

Анализ полученных данных (табл. 27) показал, что в СХПК «ПЗ им. Ленина» наибольшая живая масса при рождении была у телок с генотипом *ТС*, превышая этот показатель у особей с генотипом *СС* на 0,3 кг (0,9%).

Таблица 27 – Показатели динамики живой массы коров разных генотипов гена *FGF21*

<i>СХПК «ПЗ им. Ленина»</i>				
Показатель		<i>СС</i> (n = 42)	<i>ТС</i> (n = 106)	<i>ТТ</i> (n = 0)
Живая масса, кг	при рождении	31,6 ± 0,6	31,9 ± 0,4	
	6 мес.	172,6 ± 3,7	170,6 ± 2,3	
	12 мес.	317,9 ± 4,9	314,2 ± 3,2	
	18 мес.	419,3 ± 5,5	419,0 ± 4,0	
Абсолютный прирост, кг	0...6 мес.	141,0 ± 3,5	138,7 ± 2,3	
	6...12 мес.	145,3 ± 3,6	143,6 ± 2,3	
	12...18 мес.	101,4 ± 4,5	104,8 ± 3,0	
Среднесуточный прирост, г	0...6 мес.	783,3 ± 19,4	770,6 ± 12,8	
	6...12 мес.	807,2 ± 20,3	797,8 ± 12,9	
	12...18 мес.	563,3 ± 24,7	582,2 ± 16,9	
	0...18 мес.	718,0 ± 19,6	716,9 ± 13,1	
<i>КФХ «Мухаметшин 3.3.»</i>				
Показатель		<i>СС</i> (n = 60)	<i>ТС</i> (n = 152)	<i>ТТ</i> (n = 49)
Живая масса, кг	при рождении	36,7 ± 0,7	35,3 ± 0,5	36,2 ± 1,4
	6 мес.	162,3 ± 3,2	167,4 ± 1,7	168,0 ± 3,9
	12 мес.	324,2 ± 4,8	335,2 ± 2,5*	338,0 ± 5,3
	18 мес.	461,8 ± 4,3	461,6 ± 2,1	462,4 ± 4,7
Абсолютный прирост, кг	0...6 мес.	125,6 ± 2,5	132,1 ± 1,3*	131,8 ± 2,6
	6...12 мес.	161,9 ± 1,6	167,8 ± 0,8**	170,0 ± 1,3***
	12...18 мес.	137,6 ± 0,6***	126,4 ± 0,5**	124,4 ± 0,6
Среднесуточный прирост, г	0...6 мес.	697,8 ± 13,9	733,9 ± 7,2*	732,2 ± 14,3
	6...12 мес.	899,4 ± 9,1	932,2 ± 4,2**	944,4 ± 7,3***
	12...18 мес.	764,4 ± 3,1***	702,2 ± 2,5**	691,1 ± 3,1
	0...18 мес.	787,2 ± 6,6	789,4 ± 2,9	789,3 ± 6,2

Животные с генотипом СС имели максимальные значения по живой массе в 6, 12 и 18 мес. Различия по этим показателям между телками с генотипами СС и ТС составили 2,0 кг, 3,7 и 0,3 кг (1,2%; 1,2 и 0,1 %) соответственно.

Абсолютный прирост живой массы от 0–6 мес. и от 6–12 мес. у особей с генотипом СС был больше, чем у телок с генотипом ТС на 2,3 кг (1,6%) и 1,7 кг (1,2%). В отношении абсолютного прироста от 12 до 18 мес. наблюдается превосходство в группе животных с генотипом ТС на 3,4 кг (3,2%) по сравнению с группой телят с генотипом СС.

Между группами животных с генотипами СС и ТС по показателю среднесуточного прироста живой массы в периоды от 0 до 6 мес.; от 6 до 12 мес.; от 0 до 18 мес. различие составило 12,7 г (1,6%); 9,4 г (1,2%); 1,1 г (0,2%) соответственно.

В КФХ «Мухаметшин 3.3.» максимальной живой массой при рождении обладали телята с генотипом СС – 36,7 кг. По показателям живой массы в 6, 12 и 18 мес. наивысшие значения имели животные с генотипом ТТ. Зафиксирована статистическая разница по показателю живой массы в 12 мес. между особями с генотипами ТС и СС – 11,0 кг (3,3%; $p < 0,05$).

По абсолютному приросту от 0 до 6 мес. выгодно отличились телки с генотипом ТС. Статистически значимое различие по данному показателю между группами животных ТС и СС составило 6,5 кг (4,9%; $p < 0,05$). У особей с генотипом ТТ показатель абсолютного прироста от 6 до 12 мес. был выше, чем у сверстниц. Разница с генотипом СС составила 8,1 кг (4,8%; $p < 0,001$). Также выявлено статистическое различие по данному показателю между группами животных с генотипами ТС и СС – 5,9 кг (3,5%; $p < 0,01$). Наибольшим абсолютным приростом от 12 до 18 мес. выделились коровы с генотипом СС. Достоверная разница между особями с генотипами СС и ТС составила 11,2 кг (8,1%; $p < 0,001$), с генотипами СС и ТТ – 13,2 кг (9,6%; $p < 0,001$), с генотипами ТС и ТТ – 2,0 кг (1,6%; $p < 0,01$).

Среднесуточный прирост живой массы от 0 до 6 мес. у особей с гетерозиготным генотипом ТС был больше, чем у телок с генотипом СС на 36,1 г

(4,9%; $p < 0,05$). В отношении среднесуточного прироста от 6 до 12 мес. наблюдается достоверное преимущество животных с генотипом ТТ над СС на 45,0 г (4,8%; $p < 0,001$), с генотипом ТС над СС – 32,8 г (3,5%; $p < 0,01$). Между группами с генотипами СС и ТС зафиксирована статистическая разница по среднесуточному приросту от 12 до 18 мес. 62,2 г (8,1%; $p < 0,001$), также различия имелись между группами СС и ТТ – 73,3 г (9,6%; $p < 0,001$), между группами ТС и ТТ – 11,1 г (1,6%; $p < 0,01$). Максимальный среднесуточный прирост имели животные с генотипами ТС (Э.Р. Гайнутдинова, 2025b).

В конечном итоге анализ показателей динамики живой массы выявил принципиально разные модели влияния генотипов гена *FGF21* на рост и развитие особей в исследуемых популяциях. В поголовье отечественного скота наилучшие показатели живой массы демонстрировали животные генотипа СС по конечной живой массе и приросту в большинстве возрастных периодов. У коров зарубежной селекции явное лидерство закрепилось за носителями генотипа ТТ и гетерозиготными особями. Это противоречие указывает на то, что эффект этого генотипа не является автономным и зависит как от наследственных особенностей стада, так и от условий содержания и кормления.

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

Для каждого установленного генотипа животных обоих хозяйств проведен комплексный биохимический анализ сыворотки крови, включающий оценку белкового, липидного и минерального обмена, активности ферментов, а также иммуноферментный анализ. Общий белок, находящийся в физиологических пределах, отражает синтетическую функцию печени и почек, а его уровень коррелирует с поступлением протеинов с кормом. Альбумины, обеспечивающие транспорт метаболитов и анионов, тесно связаны с кальциевым обменом, поскольку часть кальция циркулирует в связанной с ними форме. Мочевина, как маркер аммиачного обмена в рубце, косвенно влияет на рН крови и активность ферментов, таких как щелочная фосфатаза, синтезируемая печенью. Интенсивность липидного обмена характеризуют холестерол и триглицериды, уровень которых зависит от активности липазы – ключевого фермента, секретируемого поджелудочной железой для гидролиза жиров. Баланс энергетического обмена оценивали по глюкозе, а углеводный метаболизм – по амилазе. Состояние аминокислотного обмена и клеточного гомеостаза отражали АЛТ и АСТ, тогда как фосфорно-кальциевый обмен, анализировали совместно с уровнем щелочной фосфатазы, что позволяет выявлять ранние нарушения минерального статуса (Е.О. Крупин и др., 2021; Ш.К. Шакиров и др., 2023).

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

Произведен анализ параметров антиоксидантного статуса и биохимического профиля сыворотки крови голштинского скота. Результаты проведенных исследований сыворотки крови подопытных животных приведены в таблице 28, по ним можно судить о степени метаболизма и окислительно-восстановительном балансе.

Данные показывают, что полученные показатели у коров различных групп находились, в основном, в пределах физиологической нормы. Однако при сравнении показателей прослеживаются различия, как по генотипам животных, так и по фермам.

Таблица 28 – Показатели биохимического анализа сыворотки крови коров с разными генотипами гена *GPX-1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	СС (n = 6)	ТС (n = 6)	ТТ (n = 6)
ГРх, Ед./л	0,312 ± 0,004***	0,304 ± 0,001***	0,285 ± 0,003
Общий белок, г/л	88,2 ± 1,04	91,9 ± 0,94**	90,4 ± 0,62
Альбумины, г/л	41,9 ± 0,99	40,5 ± 1,07	42,6 ± 0,96
Мочевина, ммоль/л	7,95 ± 0,27*	7,45 ± 0,24	7,05 ± 0,28
АСТ, Ед./л	133,8 ± 7,85	132,6 ± 6,00	130,2 ± 6,62
АЛТ, Ед./л	35,6 ± 0,97**,**	30,2 ± 0,81	31,2 ± 0,73
Холестерол, ммоль/л	4,17 ± 0,09	3,90 ± 0,12	4,46 ± 0,08*,**
Триглицерид, ммоль/л	0,085 ± 0,002	0,080 ± 0,002	0,089 ± 0,003*
Липаза, Ед./л	7,05 ± 0,26*	6,20 ± 0,22	5,90 ± 0,95
Глюкоза, ммоль/л	2,25 ± 0,06	2,53 ± 0,03**	2,66 ± 0,10**
Амилаза, Ед./л	352,9 ± 15,0	315,0 ± 15,5	381,7 ± 0,16**
ЩФ, Ед./л	1,33 ± 0,07***,**	0,74 ± 0,04	1,05 ± 0,05***
Кальций, ммоль/л	1,89 ± 0,15	1,93 ± 0,10	2,23 ± 0,04*
Фосфор, ммоль/л	2,06 ± 0,16	1,69 ± 0,06	1,77 ± 0,94
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	СС (n = 5)	ТС (n = 5)	ТТ (n = 5)
ГРх, Ед./л	0,293 ± 0,003***	0,271 ± 0,002**	0,259 ± 0,003
Общий белок, г/л	76,1 ± 0,23	76,5 ± 0,06	83,3 ± 0,31***
Альбумины, г/л	32,9 ± 0,12***	32,3 ± 0,03	32,8 ± 0,09***
Мочевина, ммоль/л	6,94 ± 0,01***	6,24 ± 0,01	7,18 ± 0,04***
АСТ, Ед./л	55,56±0,51***	34,42±0,17***	25,68±0,25
АЛТ, Ед./л	29,9 ± 0,79	31,4 ± 0,54	34,0 ± 1,11
Холестерол, ммоль/л	3,76±0,02***	3,72±0,01***	3,47±0,01
Триглицерид, ммоль/л	0,220 ± 0,002***	0,185 ± 0,001	0,228 ± 0,002*,***
Липаза, Ед./л	11,9 ± 0,04***	11,3 ± 0,01	16,7 ± 0,09***
Глюкоза, ммоль/л	2,41 ± 0,02***	2,21 ± 0,01	2,94 ± 0,02***
Амилаза, Ед./л	143,8 ± 0,42***	139,5 ± 0,31	154,6 ± 1,02***
ЩФ, Ед./л	1,54 ± 0,002	1,75 ± 0,001***	1,66 ± 0,013***
Кальций, ммоль/л	2,16 ± 0,07	2,37 ± 0,004***	2,36 ± 0,008***
Фосфор, ммоль/л	1,89 ± 0,002***	1,83 ± 0,001	1,99 ± 0,003***

Результаты исследования биохимических показателей свидетельствуют о вариативности уровня GPx в зависимости от генотипа животных. В двух популяциях голштинского скота достоверно выше ($p < 0,05$) содержание GPx в сыворотке крови коров с генотипами СС, чуть ниже у особей с генотипами ТС и минимальное количество имеют коровы с генотипами ТТ гена *GPX-1*. Разница по этому показателю у коров различных генотипов составила: между СС и ТТ – 0,028 Ед./л (8,7%) между ТС и ТТ – 0,019 Ед./л (6,3%).

По полученным данным уровень GPx в сыворотке крови дойных коров отечественной селекции с высокой молочной продуктивностью выше, чем у импортных коров с удоями ниже. В поголовье импортного скота содержание GPx в сыворотке крови было статистически значимо ($p < 0,05$) снижено у коров с генотипами ТС и ТТ. Различия между особями с генотипами СС и ТС было 0,022 Ед./л (7,5%), СС и ТТ – 0,034 Ед./л (11,6%), а ТС и ТТ – 0,012 Ед./л (4,4%).

Содержание общего белка в сыворотке крови, характеризующего уровень протеинового питания в целом, у коров отечественной селекции находилось в пределах 88,2–91,9 г/л, в группах зарубежного скота этот показатель был несколько ниже и составил 76,1–83,3 г/л.

У коров отечественной селекции максимальный уровень общего белка имели животные с генотипами ТС, достоверно превышая этот показатель у группы СС на 3,7 г/л (4,0%; $p < 0,01$). В поголовье скота зарубежной селекции высоким содержанием общего белка в сыворотке крови характеризовались ТТ-особи. Их преимущество по этому показателю над коровами с генотипами ТС и СС было 6,8 г/л (8,2%; $p < 0,001$) и 7,2 г/л (8,6%; $p < 0,001$) соответственно.

Уровень альбуминовой фракции – пластического материала, обуславливающего возможности для синтеза белка молока и мышечной ткани, был в пределах 40,5–42,6 г/л у коров СХПК «ПЗ им. Ленина». По содержанию альбуминов в сыворотке крови коровы КФХ «Мухаметшин 3.3.» с генотипами СС и ТТ превосходили животных с генотипом ТС на 0,6 и 0,5 г/л (1,8 и 1,5 %; $p < 0,05$).

Установлено, что уровень мочевины в крови коров отечественной селекции с генотипом СС был выше. Достоверная разница по этому показателю по

сравнению с особями с генотипом ТТ составила 0,9 ммоль/л (11,3%; $p < 0,05$). В популяции животных КФХ «Мухаметшин 3.3.» высокой концентрацией мочевины характеризовались коровы с генотипом ТТ. Уровень мочевины на 0,24 ммоль/л (3,3%; $p < 0,001$) был выше, чем у сверстниц с генотипом СС, и на 0,94 ммоль/л (13,3%; $p < 0,001$) по сравнению с носителями генотипа ТС. Высокая степень достоверности по разнице содержания мочевины зафиксирована между животными с генотипами СС и ТС – 0,7 ммоль/л (10,1%; $p < 0,001$).

Активные ферменты аспаратаминотрансфераза (АСТ) и аланинаминотрансфераза (АЛТ) выступают катализаторами важнейших процессов в организме, связанными с белковым обменом, и участвующие в обратимой реакции переноса аминогрупп аминокислот на кетокислоты, а также в синтезе аминокислот. В популяции отечественного скота активность АСТ была в несколько раз выше, чем у импортного скота. В разрезе генотипов в обеих популяциях наблюдался спад уровня активности от группы к группе с генотипами СС > ТС > ТТ. У коров в КФХ «Мухаметшин 3.3.» разница между генотипами достигала 8,74–29,88 Ед./л (25,4–55,8 %). Содержание АЛТ в крови поголовья скота отечественной селекции было высоким у коров с генотипом СС – на 5,4 Ед./л (15,2%) выше, чем у ТС, и на 4,4 Ед./л (12,4%) выше, чем у ТТ генотипов. В группах скота зарубежной селекции самый высокий уровень АЛТ установлен у коров с ТТ генотипом – 33,99 Ед./л, среднее значение у коров с ТС генотипом – 31,42 Ед./л. Эти показатели были выше, чем у особей с генотипом СС, соответственно на 4,09 и 1,52 Ед./л (12,0 и 4,8 %) (N. Safina et al., 2023).

Липидный обмен играет ключевую роль в процессах лактогенеза, где холестерол и триглицериды выступают важнейшими структурными и функциональными компонентами молочного жира. Холестерол важен для образования клеточных мембран молочных желез и синтеза гормонов, регулирующих лактацию. Триглицериды играют значимую роль в синтезе молока, выполняют двойную функцию: обеспечивают энергетическую ценность молока, а также участвуют в формировании эмульсии жировых шариков.

Изучение продуктов липидного обмена показало, что у коров с генотипом ТТ СХПК «ПЗ им. Ленина» наблюдался статистически значимый высокий уровень холестерина, который был выше соответственно на 0,56 и 0,26 ммоль/л ($p < 0,05$), чем у особей, имеющих генотипы ТС и СС. В популяции животных КФХ «Мухаметшин 3.3.» холестерин был на 0,29 и 0,25 ммоль/л ($p < 0,05$) выше у коров с генотипами СС и ТС, чем у гомозиготных ТТ-особей.

Относительно содержания триглицеридов в крови достоверно высокое значение установлено в обеих популяциях у коров генотипа ТТ. Однако в поголовье скота зарубежной селекции содержание триглицеридов у животных всех генотипов было повышенным, по сравнению с отечественными особями.

Повышенным уровнем липазы в крови в СХПК «ПЗ им. Ленина» обладали животные с генотипом СС. Достоверное различие по данному показателю по сравнению с особями с генотипом ТС составило 0,85 Ед./л (12,1%; $p < 0,05$). У коров зарубежной селекции максимальный уровень липазы имели особи с генотипом ТТ, статистически значимо превышая этот показатель над группой животных с генотипом СС на 4,8 Ед./л (28,7%; $p < 0,001$), с генотипом ТС – 5,4 Ед./л (32,3%; $p < 0,001$). По данному показателю между коровами с генотипами СС и ТС зафиксирована достоверная разница 0,6 Ед./л (5,0%; $p < 0,001$).

Концентрация глюкозы в сыворотке крови во всех группах соответствовала физиологической норме и варьировала в пределах 2,21–2,94 ммоль/л. По сообщению N. Wullepit et al. (2009) высокий уровень глюкозы ассоциирован с высокой активностью GPx (N. Wullepit et al., 2009). Но в нашем исследовании наблюдается обратная зависимость глутатионпероксидаза–глюкоза: у высокопродуктивных коров: с ростом активности GPx снижается уровень глюкозы в крови. В популяции коров КФХ «Мухаметшин 3.3.» такой тенденции не установлено, но глюкоза принимает высокие значения в группах животных с гомозиготными генотипами СС и ТТ.

В СХПК «ПЗ им. Ленина» повышенным уровнем амилазы в крови отличились особи с генотипом ТТ. Достоверная разница между коровами с генотипами ТТ и ТС составила 66,7 Ед./л (17,5%; $p < 0,01$). В популяции

зарубежной селекции показатель амилазы у животных с генотипом ТТ был выше, чем у коров других генотипов, превышая этот показатель у группы СС на 10,8 Ед./л (7,0%; $p < 0,001$), у группы ТС – на 15,1 Ед./л (9,8%; $p < 0,001$). По данному показателю между коровами с генотипами СС и ТС зафиксирована достоверная разница 4,3 Ед./л (3,0%; $p < 0,001$).

У особей с генотипом СС отечественной селекции наблюдался максимальный уровень щелочной фосфатазы. Достоверная разница по этому показателю между животными с генотипами СС и ТС составила 0,59 Ед./л (44,4%; $p < 0,001$), с генотипами СС и ТТ – 0,28 Ед./л (21,1%; $p < 0,01$), с генотипами ТТ и ТС – 0,31 Ед./л (29,5%; $p < 0,001$). В КФХ «Мухаметшин 3.3.» высокое содержание щелочной фосфатазы установлено у коров с генотипом ТС. Статистически значимое различие по концентрации щелочной фосфатазы между группами с генотипами ТС и СС – 0,21 Ед./л (12,0%; $p < 0,001$), с генотипами ТС и ТТ – 0,09 Ед./л (5,1%; $p < 0,001$), с генотипами ТТ и СС – 0,12 Ед./л (7,2%; $p < 0,001$).

В СХПК «ПЗ им. Ленина» отмечается высокое содержание кальция в крови животных с генотипом ТТ. Достоверная разница по этому показателю со сверстницами, имеющими генотип СС и ТС, составила 0,34 ммоль/л (15,2%; $p < 0,05$) и 0,30 ммоль/л (13,5%; $p < 0,05$) соответственно. У особей зарубежной селекции с генотипом ТС уровень кальция был выше, чем у животных других генотипов. Достоверное различие по уровню кальция наблюдается между коровами с генотипами ТС и СС – 0,21 ммоль/л (8,9%; $p < 0,001$), с генотипами ТТ и СС – 0,20 ммоль/л (8,5%; $p < 0,001$).

По показателю фосфора в сыворотке крови в популяции животных отечественной селекции достоверных различий не зафиксировано. В КФХ «Мухаметшин 3.3.» уровень фосфора у коров с генотипом ТТ был на 0,10 ммоль/л (5,0%; $p < 0,001$) выше, чем у особей с генотипом СС, и на 0,16 ммоль/л (8,0%; $p < 0,001$) выше, чем у животных с ТТ генотипом. Между коровами с генотипами СС и ТС наблюдалась достоверная разница по этому показателю – 0,06 ммоль/л (3,2%; $p < 0,001$).

На основании вышеизложенного можно заключить, что полиморфизм гена *GPX-1* оказывает значимое влияние на биохимический статус и антиоксидантную защиту организма у голштинского скота. Коровы обеих популяций с генотипом *CC* характеризуются максимальной активностью *GPx* в сыворотке крови. Выявленные межпопуляционные различия, в частности более высокая экспрессия глутатионпероксидазы-1 у коров отечественной селекции по сравнению с зарубежными животными, а также установленная обратная зависимость между уровнем *GPx* и концентрацией глюкозы у высокопродуктивного скота, подчеркивают важность учета генетических факторов при оценке метаболического статуса.

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

Согласно полученным результатам (табл. 29) уровень параоксоназы 1 в сыворотке крови опытных животных СХПК «ПЗ им. Ленина» достигал максимального значения в группе с генотипом *GG* (195,9 Ед./л), что на 33,4 Ед./л (17,1%; $p < 0,05$) и 10,8 Ед./л (6,2%) выше, чем у особей с генотипами *AA* и *GA* соответственно.

По результатам исследований биохимических показателей сыворотки крови коров КФХ «Мухаметшин 3.3.» наивысший уровень параоксоназы 1 зафиксирован у животных с генотипом *GG*. Наблюдаемое превосходство между генотипами *GG* и *AA* составило 33,5 Ед./мл (18,6%; $p < 0,05$).

Общий белок в крови коров отечественной селекции имел незначительную вариабельность в анализах, однако, наименьшее значение показал у особей с генотипом *GG*, а наивысшее у животных с генотипом *GA*, что в сравнение составило 3,2 г/л (3,5%; $p < 0,01$).

Коровы в КФХ «Мухаметшин 3.3.» с генотипом *AA* достоверно выгодно отличались по уровню общего белка в сыворотке крови. Статистически значимое различие по этому показателю между группами особей с генотипами *AA* и *GG*

составило 7,5 г/л (9,2%; $p < 0,01$), между группами с генотипами GA и GG – 5,2 г/л (6,5%; $p < 0,05$).

Таблица 29 – Показатели биохимического анализа сыворотки крови коров с разными генотипами гена *PON1*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	AA (n = 6)	GA (n = 6)	GG (n = 6)
PON1, Ед./л	162,5 ± 11,68	173,3 ± 10,65	195,9 ± 11,93
Общий белок, г/л	89,1 ± 1,30	91,9 ± 0,70*	88,7 ± 0,83
Альбумины, г/л	35,6 ± 0,27	42,9 ± 0,54***	44,5 ± 0,67***
Мочевина, ммоль/л	6,89 ± 0,14	7,23 ± 0,11	7,91 ± 0,17***
АСТ, Ед./л	139,9 ± 4,89	129,6 ± 7,62	174,5 ± 7,55**
АЛТ, Ед./л	32,1 ± 0,92	32,2 ± 1,01	35,4 ± 0,59*,*
Холестерол, ммоль/л	4,02 ± 0,04	4,14 ± 0,04	4,72 ± 0,06***
Триглицерид, ммоль/л	0,070 ± 0,002	0,072 ± 0,006*	0,100 ± 0,005***, **
Липаза, Ед./л	2,86 ± 0,02	6,35 ± 0,03***	6,72 ± 0,02***
Глюкоза, ммоль/л	2,79 ± 0,04***	2,45 ± 0,03***	2,17 ± 0,02
Амилаза, Ед./л	307,1 ± 4,38	322,0 ± 11,3	403,1 ± 10,7***
ЩФ, Ед./л	0,70 ± 0,05	0,61 ± 0,04	0,74 ± 0,03*
Кальций, ммоль/л	2,19 ± 0,02*	2,08 ± 0,04	2,12 ± 0,03
Фосфор, ммоль/л	2,04 ± 0,06*	1,84 ± 0,04	2,02 ± 0,02*
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	AA (n = 5)	GA (n = 5)	GG (n = 5)
PON1, Ед./л	146,2 ± 10,22	157,1 ± 9,19	179,7 ± 11,45*
Общий белок, г/л	81,7 ± 1,97**	79,4 ± 1,74*	74,2 ± 1,20
Альбумины, г/л	32,4 ± 0,19	34,3 ± 0,16***	31,9 ± 0,48
Мочевина, ммоль/л	5,85 ± 0,04	6,12 ± 0,18	6,32 ± 0,17*
АСТ, Ед./л	68,6 ± 1,2***	69,4 ± 1,8***	59,2 ± 0,6
АЛТ, Ед./л	29,3 ± 0,8	27,7 ± 0,6	31,9 ± 1,9*
Холестерол, ммоль/л	4,59 ± 0,04***	3,69 ± 0,11***	2,63 ± 0,01
Триглицерид, ммоль/л	0,220 ± 0,006**	0,205 ± 0,010	0,195 ± 0,005
Липаза, Ед./л	11,9 ± 0,03**	15,5 ± 0,71***	11,7 ± 0,06
Глюкоза, ммоль/л	2,69 ± 0,14*	2,30 ± 0,11	2,07 ± 0,09
Амилаза, Ед./л	139,0 ± 2,0	150,7 ± 4,8*	150,0 ± 4,9
ЩФ, Ед./л	1,60 ± 0,12	1,87 ± 0,05	1,73 ± 0,15
Кальций, ммоль/л	2,55 ± 0,06***	2,59 ± 0,04***	2,17 ± 0,05
Фосфор, ммоль/л	1,91 ± 0,01	1,97 ± 0,01**, *	1,84 ± 0,04

Исследования биохимического статуса сыворотки крови крупного рогатого скота в работах других авторов зафиксировали противоположные значения этого

параметра: в одних общий белок и альбумин имеют тенденцию к снижению (М.Н. Durak et al., 2018), в других – к увеличению (N.M. Taha et al., 2016) с возрастанием параоксоназы 1 в крови.

Животные отечественной селекции с генотипами GG и GA с наибольшей активностью фермента PON1, обладали высоким уровнем альбуминов – 44,5 и 42,9 г/л. Их превосходство по этому показателю над сверстницами с генотипом AA составило 8,9 и 7,3 г/л (20,0 и 17,0 %; $p < 0,001$). В данных, полученных в результате изучения популяции зарубежного скота, наблюдается высокое содержание альбуминов в крови у группы с генотипом GA. Достоверная разница по данному показателю со сверстницами, имеющими генотип AA и GG, составила 1,9 г/л (5,5%; $p < 0,001$) и 2,4 г/л (7,0%; $p < 0,001$) соответственно.

Судя по полученным данным, содержание альбуминов находится в прямой зависимости от уровня параоксоназы 1. Такие же сведения опубликовали в своих исследованиях несколько коллективов ученых (M. Bionaz et al., 2007; S. Bademkiran et al., 2008; A.S. Farid et al., 2013; N.M. Taha et al., 2016).

В группе животных с генотипом GG гена *PON1* СХПК «ПЗ им. Ленина», изначально имеющих высокое содержание общего белка и его фракции – альбуминов, так же установлен достоверно высокий уровень мочевины в сыворотке крови, который снижается вслед за их спадом. Статистически значимое различие по содержанию мочевины между группами с генотипами GG и GA – 0,68 ммоль/л (8,6%; $p < 0,001$), а между группами с генотипами GG и AA – 1,20 ммоль/л (12,9%; $p < 0,001$). В КФХ «Мухаметшин 3.3.» преобладание содержания мочевины установлено у особей с генотипом GG. Статистически значимое различие по содержанию мочевины между группами с генотипами GG и AA – 0,47 ммоль/л (7,4%; $p < 0,01$). В эксперименте М.Н. Durak et al. (2017) получены схожие показатели мочевины, положительно ассоциированные с экспрессией параоксоназы у голштинского и помесного скота Турции (М.Н. Durak et al., 2017).

Активность АСТ и АЛТ в сыворотке крови используется в качестве диагностических инструментов для выявления клинического кетоза и стеатоза печени. Анализ сыворотки, проведенный в СХПК «ПЗ им. Ленина», показал, что в

крови животных с генотипом GG гена *PON1* наблюдается наивысший уровень АСТ, по сравнению со сверстницами AA и GA генотипов на 34,6 и 44,9 Ед./л (19,8 и 25,7 %; $p < 0,001$) и АЛТ – 3,3 и 3,2 Ед./л (9,3 и 9,0 %; $p < 0,001$) соответственно. Повышенное содержание АСТ в сыворотке крови зафиксировано у коров с генотипом AA и GA в КФХ «Мухаметшин 3.3.». Достоверное различие с группами, имеющими генотипы GA и GG, AA и GG, составило 10,2 Ед./л (14,7%; $p < 0,001$), 9,4 Ед./л 10,2 Ед./л (14,7%; $p < 0,001$), Уровень АЛТ в группе особей с генотипом GG на 4,2 Ед./л (13,2%; $p < 0,05$), превышал этот показатель, чем тот, что был получен у особей с генотипом GA.

По отношению к активности фермента параоксоназа-1 повышение содержания АЛТ и снижения АСТ в крови голштинского крупного рогатого скота так же установили S. Abbas et al. (2020) в Пакистане и A.S. Farid et al. (2013) в Японии (S. Abbas et al., 2020; A.S. Farid et al., 2013).

Высокое содержание холестерина в крови наблюдается так же у субпопуляции с генотипом GG, статистически значимо превосходящее уровень в группах с генотипами AA и GA на 0,70 и 0,58 ммоль/л (14,8 и 12,3 %; $p < 0,001$) соответственно. По данным N.A. Castro et al. (2021) в разрезе полиморфизма гена *PON1* (-221 A/G) установлено снижение уровня параоксоназы в зависимости от идентифицированного генотипа GA > GG > AA коров породы Нелор (N.A. Castro et al., 2021). В изучении полиморфизма голштинского скота Бразилии P.A.S. Silveria (2015, 2019) указывает на то, что содержание параоксоназы-1 у группы животных с разными генотипами гена *PON1* имело следующую тенденцию к увеличению GG < GA < AA (P.A.S. Silveria et al., 2015, 2019).

В поголовье СХПК «ПЗ им. Ленина» достоверно высоким уровнем холестерина характеризуются так же особи с генотипом GA по отношению к особям с генотипом AA, различие по этому показателю составило 0,12 ммоль/л (2,9%; $p < 0,05$).

Наивысшее содержание холестерина в крови зафиксировано у животных с генотипом AA в КФХ «Мухаметшин 3.3.», статистически значимо превосходящее уровень в группах с генотипами GA и GG на 0,9 ммоль/л (19,6%; $p < 0,001$) и 1,96

ммоль/л (42,7%; $p < 0,001$) соответственно. Также достоверная разница по этому показателю установлена между особями, имеющими генотип GA и GG, 1,06 ммоль/л (28,7%; $p < 0,001$).

В исследованиях зарубежных ученых достаточно часто встречается похожая тенденция на увеличение холестерина в сыворотке крови при возрастании уровня активности параоксоназы-1 (M. Bionaz et al., 2007; A.S. Farid et al., 2013). Однако существуют экспериментальные данные, свидетельствующие об обратной зависимости уровня параоксоназы-1 и холестерина у голштинских коров (S. Bademkiran et al., 2008, N.M. Taha et al., 2016).

Коровы отечественной селекции, имеющие генотип GG гена *PON1*, в нашем исследовании характеризовались так же высоким содержанием триглицеридов в сыворотке крови. Разница достоверно доходила до 0,030 и 0,028 ммоль/л (30,0 и 28,0 %; $p < 0,01$) до этого показателя у животных с генотипами AA и GA. Достоверно высоким уровнем триглицеридов характеризуются животные с генотипом AA по отношению к животным с генотипом GG в КФХ «Мухаметшин 3.3.», различие по этому показателю составило 0,025 ммоль/л (11,4%; $p < 0,01$).

Похожую закономерность (рост уровня триглицеридов вместе с ростом содержания параоксоназы) описали в своей статье египетские коллеги, проводившие биохимический анализ сыворотки голштинского поголовья (N.M.Taha et al., 2016). Работа A.S. Farid et al. по изучению картины крови в зависимости от уровня параоксоназы опытной популяции голштинского скота, наоборот, демонстрирует склонность к снижению триглицеридов во время проявления её экспрессии (A.S. Farid et al., 2013).

В СХПК «ПЗ им. Ленина» различие по показателю липазы, ферменту, вырабатываемому поджелудочной железой для расщепления триглицеридов, статистически значимо достигает между группами с генотипами GA и AA – 3,10 Ед./л (51,7%; $p < 0,001$), а между группами GG и AA – 3,09 Ед./л (51,6%; $p < 0,001$). Высоким показателем липазы в КФХ «Мухаметшин 3.3.» отличились животные с генотипом GA. Достоверная разница между группами коров с генотипом GA и AA

составила 3,6 Ед./л (23,2%; $p < 0,001$), между группами GA и GG – 3,8 Ед./л (24,5%; $p < 0,001$), а между группами AA и GG – 0,2 Ед./л (1,7%; $p < 0,01$).

Уровень глюкозы в сыворотке крови опытных животных КФХ «Мухаметшин 3.3.» принимает максимальное значение в группе с генотипом AA, что на 0,39 ммоль/л (14,5%; $p < 0,05$) и 0,62 ммоль/л (23,0%; $p < 0,001$) выше, чем у особей с генотипами GA и GG соответственно. В этой же популяции по показателям амилазы установлено преимущество в группе животных с генотипом GA над AA было 11,7 Ед./л (7,8%; $p < 0,05$), с генотипом GG над AA – 11,0 Ед./л (7,3%; $p < 0,05$).

Показатель глюкозы в СХПК «ПЗ им. Ленина» у коров с генотипом AA имел повышенное значение среди животных других генотипов – 2,79 ммоль/л. Достоверное различие между особями с генотипами AA и GA составило 0,34 ммоль/л (12,2 %; $p < 0,001$), с генотипами AA и GG – 0,62 ммоль/л (22,2%; $p < 0,001$). Между группами особей с генотипами GA и GG по этому показателю зафиксирована достоверная разница 0,28 ммоль/л (11,4%; $p < 0,001$).

Коровы отечественной селекции, имеющие генотип GG гена *PON1*, отличились высоким содержанием амилазы в сыворотке крови. Достоверное различие по уровню амилазы между особями генотипами GG и AA – 96,0 Ед./л (23,8%; $p < 0,001$), животными с генотипами GG и GA – 81,1 Ед./л (20,1%; $p < 0,001$).

Уровень щелочной фосфатазы у животных отечественной селекции был повышенным у групп особей с генотипом GG, наблюдаемая разница между группами животных GG и GA составила 0,13 Ед./л (17,6%; $p < 0,05$).

Изучение содержания кальция (Ca, ммоль/л) в разрезе активности параоксоназы имеет значение, так как он понижает возбудимость отдельных участков нервной системы, уменьшает связывание воды тканевыми коллоидами, снижает температуру тела, ослабляет действие токсинов на организм, необходим для возникновения биоэлектрических потенциалов на поверхности клеточных мембран. В нашем эксперименте в СХПК «ПЗ им. Ленина» у коров с генотипом AA гена *PON1* зафиксировано максимальное количество кальция в сыворотке,

превосходящее этот показатель у коров с генотипом GA на 0,11 ммоль/л (5,0%; $p < 0,05$).

У коров зарубежной селекции по уровню кальция в сыворотке крови наблюдается достоверная разница между животными с генотипами GA и GG – 0,42 ммоль/л (16,2%; $p < 0,001$), с генотипами AA и GG – 0,38 ммоль/л (14,9%; $p < 0,001$).

Фосфор (P) – активатор углеводов, аминокислот и продуктов омыления жиров в процессе их окисления, имеет статистически значимую вариабельность среди оцениваемого поголовья. Разница по уровню фосфора достигает 0,20 ммоль/л (9,8%; $p < 0,05$) между группами с генотипами AA и GA, и 0,18 ммоль/л (8,9%; $p < 0,001$) между группами с генотипами GG и GA в популяции СХПК «ПЗ им. Ленина». В поголовье КФХ «Мухаметшин 3.3.» максимальный показатель фосфора в сыворотке крови установлен у коров с генотипом GA. Достоверная разница по данному показателю между особями с генотипами GA и AA составила 0,06 ммоль/л (3,0%; $p < 0,001$), генотипами GA и GG – 0,13 ммоль/л (6,6%; $p < 0,01$) (Н.Ю. Сафина и др., 2022b, Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина, 2025b).

Таким образом, в ходе исследований были выявлены выраженные различия биохимических показателей сыворотки крови у коров с разными генотипами гена *PON1*. Наибольшая активность параоксоназы 1 отмечена у особей GG генотипа в обеих популяциях. При этом у импортных животных генотип AA характеризовался максимальным содержанием общего белка и холестерина, тогда как у отечественного скота генотип GG ассоциировался с повышенным уровнем триглицеридов. Анализ других показателей так же подтвердил различия в характере влияния генотипов на метаболические параметры.

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

Полученные результаты исследования в разрезе генотипов гена *FGF21* демонстрируют (табл. 30), что у коров с генотипом CC уровень фактора роста

фибробластов 21 в сыворотке крови статистически значимо выше, чем у коров гетерозиготного генотипа на 165,5 пг/мл (28,2%; $p < 0,001$).

Таблица 30 – Показатели биохимического анализа сыворотки крови коров с разными генотипами гена *FGF21*

СХПК «ПЗ им. Ленина»			
Показатель	СС (n = 6)	ТС (n = 6)	ТТ (n = 0)
FGF21, пг/мл	587,3±8,4***	421,8±9,9	
Общий белок, г/л	85,70 ± 0,46	90,90 ± 0,42***	
Альбумин, г/л	40,0 ± 0,61	41,7 ± 0,45*	
Мочевина, ммоль/л	7,32 ± 0,11	7,36 ± 0,10	
АСТ, Ед./л	101,50 ± 3,95	143,30 ± 3,24**	
АЛТ, Ед./л	31,30 ± 0,35	31,90 ± 0,48	
Холестерол, ммоль/л	4,32 ± 0,01	4,31 ± 0,05	
Триглицерид, ммоль/л	0,093 ± 0,002***	0,075 ± 0,002	
Липаза, Ед./л	9,29 ± 0,21***	4,67 ± 0,20	
Глюкоза, ммоль/л	2,52 ± 0,03**	2,40 ± 0,02	
Амилаза, Ед./л	398,6 ± 8,76***	317,9 ± 7,80	
ЩФ, Ед./л	1,13 ± 0,03***	0,77 ± 0,05	
Кальций, ммоль/л	2,16 ± 0,05	2,01 ± 0,05	
Фосфор, ммоль/л	1,81 ± 0,02	1,87 ± 0,01*	
КФХ «Мухаметшин 3.3.»			
Показатель	СС (n = 5)	ТС (n = 5)	ТТ (n = 5)
FGF21, пг/мл	487,3±8,4***	321,8±5,9	464,1±6,4***
Общий белок, г/л	80,6 ± 1,05***	73,0 ± 0,90	85,7 ± 2,06***
Альбумин, г/л	33,1± 0,35	33,1 ± 0,22	32,6 ± 0,49
Мочевина, ммоль/л	6,66 ± 0,11***	5,78 ± 0,08	7,04 ± 0,45*
АСТ, Ед./л	56,4 ± 1,65**, ***	46,9 ± 1,92*	37,8 ± 3,32
АЛТ, Ед./л	25,1 ± 1,10*, ***	29,9 ± 0,60	26,5 ± 1,44
Холестерол, ммоль/л	4,27 ± 0,10***	3,45 ± 0,07	3,62 ± 0,14
Триглицерид, ммоль/л	0,248 ± 0,018***	0,162 ± 0,004	0,245 ± 0,43
Липаза, Ед./л	13,8 ± 0,35	14,8 ± 0,22*	14,3 ± 0,91
Глюкоза, ммоль/л	2,66 ± 0,03	2,75 ± 0,02*	2,85 ± 0,07*
Амилаза, Ед./л	165,9 ± 6,78***	130,8 ± 2,41	155,2 ± 12,2
ЩФ, Ед./л	1,68 ± 0,06**, ***	1,45 ± 0,04*	1,27 ± 0,07
Кальций, ммоль/л	2,40 ± 0,05**	2,11 ± 0,08	2,41 ± 0,12*
Фосфор, ммоль/л	1,89 ± 0,01**	1,83 ± 0,02	1,98 ± 0,02***

Судя по литературным данным (D.K. Gessner et al., 2014; K.M. Schoenberg et al., 2011), свидетельствующим о том, что при энергодефиците уровень FGF21

имеет тенденцию к увеличению, следует, что особи с генотипом ТС, имеющие более низкий показатель, способны ингибировать стресс и облегчить стабилизацию обмена веществ, по сравнению с гомозиготными СС-животными.

Другими словами, при улучшенном метаболизме, содержание FGF21 в сыворотке крови снижается, а при состоянии отрицательного энергетического баланса – повышается и действует как регулятор обмена веществ.

Самым высоким показателем фактора роста фибробластов 21 в крови коров зарубежной селекции отличились животные с генотипом СС. Достоверное различие между группами особей, имеющими генотипы СС и ТС составило 165,5 пг/мл (34,0%; $p < 0,001$), между группами СС и ТТ – 23,2 пг/мл (4,8%; $p < 0,05$), между группами ТТ и ТС – 142,3 пг/мл (30,7%; $p < 0,001$).

Уровень общего белка и альбуминов в сыворотке крови у животных отечественной селекции с генотипом ТС был достоверно выше, чем у особей с генотипом СС на 5,2 г/л (5,7%; $p < 0,001$) и на 1,7 г/л (4,1%; $p < 0,05$) соответственно.

Коровы КФХ «Мухаметшин 3.3.», идентифицированные как носители ТТ генотипа, имели преимущество по общему белку в крови. Достоверное преобладание по этому показателю между группами животных ТТ и СС установлено 5,1 г/л (6,0%; $p < 0,05$), между группами ТТ и ТС – 12,7 г/л (14,8%; $p < 0,001$), между группами СС и ТС – 7,6 г/л. В группах особей СС и ТС генотипов зафиксированы одинаковые уровни альбуминовой фракции – 33,1 г/л.

По уровню мочевины в сыворотке крови у животных отечественной селекции статистически значимой разницы между опытными группами не установлено.

Коровы с генотипом ТТ выгодно отличались по показателю мочевины. Статистическое различие между группами животных с генотипами ТТ и ТС составило 1,26 ммоль/л (17,9%; $p < 0,001$), с генотипами СС и ТС – 0,88 ммоль/л (13,2%; $p < 0,001$).

При оценке уровня АСТ и АЛТ в сыворотке крови опытных групп СХПК «ПЗ им. Ленина» установлено, что эти показатели слегка выше физиологической

нормы у особей с генотипом ТС. Статистически значимая разница, по сравнению с животными гомозиготного генотипа СС по ферменту аспартатаминотрансфераза составила 41,8 Ед./л (29,2%; $p < 0,001$), а по аланинаминотрансферазе – 0,60 Ед./л. Полученный результат подтверждает ранее опубликованные данные зарубежных ученых (Yu. Chen, 2019). Однако К.М. Schoenberg и др. (2011) ассоциировали увеличение АСТ с возрастанием FGF21 по итогам анализов крови голштинского скота (К.М. Schoenberg et al., 2011). Они же утверждают, что в этом случае зафиксировано повышение общего белка и альбумина.

В КФХ «Мухаметшин 3.3.» показатель АСТ в крови коров с генотипом СС был статистически больше, чем у животных с генотипом ТС на 9,5 Ед./л (16,8%; $p < 0,001$), и гомозиготных ТТ-особей на 18,6 Ед./л (33,0%; $p < 0,001$). Следует отметить еще достоверное различие по данному показателю между коровами с генотипами ТС и ТТ – 9,1 Ед./л (19,4%; $p < 0,05$).

Установлено, что уровень АЛТ максимален у гетерозиготных ТС-особей зарубежной селекции. Статистическая разница по данному показателю между животными с генотипами ТС и СС составила 4,8 Ед./л (16,1%; $p < 0,001$), с генотипами ТС и ТТ – 3,4 Ед./л (11,4%; $p < 0,05$).

Биохимические показатели липидного обмена – холестерол и триглицериды имеют тенденцию к увеличению у коров отечественной селекции с генотипом СС. Если в отношении холестерола различие незначительное 0,01 ммоль/л, то триглицериды на 0,018 ммоль/л (19,4%; $p < 0,001$) выше у сверстниц с генотипом СС. Авторы, изучавшие молочный скот в разные периоды лактации, и отмечавшие, что FGF21 регулирует использование запаса липидов, наблюдали противоречивую картину корреляции уровня FGF21 с содержанием триглицеридов – как положительную (G. Schlegel et al., 2013; К.М. Schoenberg et al., 2011; Y. Shen et al., 2018), так и отрицательную (Yu. Chen, 2019).

В поголовье коров КФХ «Мухаметшин 3.3.» установлено, что особи с генотипом СС, имеющими статистически значимо высокий холестерол, который по сравнению с животными генотипа ТС больше на 0,82 ммоль/л (19,2%; $p < 0,001$), а с коровами, имеющими генотип ТТ – 0,65 ммоль/л (0,65%; $p < 0,001$).

Уровень триглицеридов в исследуемом поголовье скота зарубежной селекции был максимальным у особей с генотипом СС. Достоверная разница по этому показателю по сравнению с животными с генотипом составила 0,086 ммоль/л (34,7%; $p < 0,001$).

В СХПК «ПЗ им. Ленина» между животными с генотипами СС и ТС по уровню липазы установлено достоверное различие – 4,62 Ед./л (49,7%; $p < 0,001$). Коровы зарубежной селекции с генотипом ТС достоверно выгодно отличались по показателю липазы в крови. Наблюдаемое превосходство особей с генотипом ТС над сверстницами с генотипом СС показало 1,0 Ед./л (6,8%; $p < 0,05$).

По свидетельству одних авторов при увеличении уровня FGF21 наблюдается снижение глюкозы (К.М. Schoenberg et al., 2011), другие в это время наблюдают ее рост (А.В. Bell, 1995; G. Schlegel et al., 2013), в работе третьих сказано о следующей зависимости – в результате уменьшения содержания FGF21 падает и уровень глюкозы в сыворотке крови коров (Yu. Chen, 2019). Наши данные, полученные в опытном поголовье СХПК «ПЗ им. Ленина», согласуются с первым вариантом: у животных СС-типа, имеющих высокий показатель FGF21, глюкоза на 0,2 ммоль/л (4,8%; $p < 0,001$) выше, чем у коров с генотипом ТС, в крови которых содержание FGF21 было изначально ниже.

В КФХ «Мухаметшин 3.3.» показатель глюкозы был выше в крови коров с генотипом ТТ, чем у особей с генотипом СС на 0,19 ммоль/л (6,7%; $p < 0,05$). Также по этому показателю зафиксировано статистическое различие между животными с генотипами ТС и СС – 0,09 ммоль/л (3,3%; $p < ,05$).

Установлено, что в СХПК «ПЗ им. Ленина» уровень амилазы в сыворотке крови у животных с генотипом СС был выше на 80,7 Ед./л (20,2%; $p < 0,001$), чем у особей с генотипом ТС. У коров зарубежной селекции в отношении амилазы наблюдается превосходство особей с генотипом СС над ТС на 35,1 Ед./л (21,7%; $p < 0,001$).

Показатель щелочной фосфатазы в поголовье отечественной селекции был максимальным у особей с генотипом СС. Достоверная разница по этому

показателю по сравнению с животными с генотипом ТС составила 0,36 Ед./л (31,9%; $p < 0,001$).

Животные зарубежной селекции с генотипом СС имели статистически значимо высокий уровень щелочной фосфатазы, который по сравнению с особями генотипа ТС больше на 0,23 Ед./л (13,7%; $p < 0,01$), а с коровами, имеющими генотип ТТ – на 0,41 Ед./л (24,4%; $p < 0,001$). Статистическая разница по этому показателю была отмечена у особей с генотипами ТС и ТТ – 0,18 Ед./л (12,4%; $p < 0,05$).

Как известно, после отела из-за резкого увеличения синтеза молока из костной ткани происходит вымывание кальция (В.М. Owen et al., 2013). В нашем эксперименте, проведенном в СХПК «ПЗ им. Ленина», коровы обоих генотипов (СС и ТС) имеют близкие к референсным (2,1–2,8 ммоль/л) значения содержания кальция в крови: СС – 2,16 ммоль/л и ТС – 2,01 ммоль/л. Показатель первой группы на 0,15 ммоль/л (6,9%; $p < 0,05$) превосходит уровень Са второй группы животных.

В КФХ «Мухаметшин 3.3.» по показателю кальция преимущество коров с разными генотипами установлено достоверное различие между животными ТТ и СС – 0,3 ммоль/л (12,4%; $p < 0,01$), СС и ТС – 0,29 ммоль/л (12,1%; $p < 0,01$).

Коровы обоих генотипов гена *FGF21* СХПК «ПЗ им. Ленина» характеризовались нормальным, по физиологическим меркам, уровнем фосфора в сыворотке крови. Однако, содержание фосфора в крови животных генотипа ТС превосходило на 0,06 ммоль/л (3,2%; $p < 0,05$) по сравнению с этим показателем у сверстниц с генотипом СС.

Максимальный уровень фосфора в крови коров зарубежной популяции отмечен у особей с генотипом ТТ – 1,98 ммоль/л. Достоверная разница по данному показателю между животными с генотипами ТТ и СС составила 0,09 ммоль/л (4,5%; $p < 0,001$), с генотипами ТТ и ТС – 0,15 ммоль/л (7,6%; $p < 0,001$), с генотипами СС и ТС – 0,06 ммоль/л (3,2 %; $p < 0,01$).

Недостаток этого элемента в организме может привести к нарушению обмена веществ, а также оказать негативное влияние на репродуктивные качества коров (Н.Ю. Сафина и др., 2022а).

Таким образом, результат проведенного анализа показал взаимосвязь между полиморфными вариантами гена *FGF21* и метаболическими параметрами. Коровы и отечественной, и зарубежной популяции с генотипами *СС* демонстрировали наибольшую концентрацию фермента *FGF21*, что может свидетельствовать о повышенной метаболической нагрузке и склонности к энергодефициту у этих особей. Генотип *СС* так же ассоциирован с высокой активностью амилазы и щелочной фосфатазы и увеличенным содержанием холестерина и триглицеридов в сыворотке крови. Аллель *T* гена *FGF21* оказал значимое влияние на содержание общего белка и альбуминовой фракции. При этом гетерозиготный генотип *ТС* в обеих популяциях занимает промежуточную позицию по метаболическим характеристикам.

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

Коэффициент вариации (C_v) – ключевой статистический показатель для оценки изменчивости признаков у сельскохозяйственных животных. Анализ коэффициента вариации племенных и продуктивных качеств коров различных генетических групп в исследуемых популяциях позволяет оценить стабильность фенотипического проявления признаков. Высокий коэффициент вариации указывает на значительное влияние паратипических факторов и низкую предсказуемость признака для генотипа, тогда как низкие значения C_v характеризует генотип как обеспечивающий более устойчивое и стабильное проявление признака (Н.И. Абрамова и др., 2018; И.П. Иванова, 2021).

Коэффициент корреляции (r) показывает степень взаимосвязи двух признаков между собой. Его диапазон зависит от конкретных признаков: от -1 (отрицательная корреляция – признаки изменяются в противоположных направлениях) до $+1$ (положительная корреляция – признаки изменяются в одном направлении). В селекционной работе обычно оценивают умеренные и высокие положительные корреляции ($0,3-0,7$ и выше), позволяющие эффективно отбирать животных по одному признаку, при этом ожидая улучшения и другого, связанного с ним признака (Г.В. Мкртчян и др., 2015; Е.А. Прищеп и др., 2024).

2.2.6.1 Оценка изменчивости племенных и продуктивных качеств коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции

По данным таблицы 31 в популяции скота отечественной селекции СХПК «ПЗ им. Ленина» животные с генотипом СС гена *GPX-1* демонстрируют меньшую вариабельность по продуктивным признакам, таким как удои за 305 дн. ($C_v = 7,83$), содержание жира и белка в молоке ($C_v = 5,96$ и $6,57$), а также живая масса при 1 отеле ($C_v = 4,99$), по сравнению с коровами с генотипами ТС и ТТ.

Это свидетельствует о большей фенотипической однородности особей с генотипом *СС* гена *GPX-1*. По протяженности сервис-периода ($Cv = 52,32-76,95$) и межотельного периода ($Cv = 15,35-25,43$), наблюдается сильная изменчивость, свидетельствующая о нестабильности продолжительности этих физиологических циклов у коров.

Таблица 31 – Изменчивость племенных и продуктивных качеств коров с разными генотипами генов *GPX-1*, *PON1*, *FGF21*

СХПК «ПЗ им. Ленина»									
Показатель	<i>GPX-1</i>			<i>PON1</i>			<i>FGF21</i>		
	<i>СС</i>	<i>ТС</i>	<i>ТТ</i>	<i>АА</i>	<i>GA</i>	<i>GG</i>	<i>СС</i>	<i>ТС</i>	
Удой за 305 дней, кг	7,83	11,07	7,83	17,83	15,44	12,95	19,18	11,63	
Массовая доля жира, %	5,96	7,39	8,51	11,35	11,30	10,49	8,12	7,51	
Массовая доля белка, %	6,57	8,26	6,61	8,33	6,44	5,10	6,79	5,17	
Живая масса при 1 осем., кг	6,38	6,58	4,99	7,46	7,13	5,59	7,52	5,01	
Живая масса при 1 отеле, кг	4,99	7,49	6,65	8,45	6,65	6,49	6,58	3,48	
Сервис-период, дн.	61,89	76,95	52,32	59,57	75,66	55,86	79,44	65,71	
Межотельный период, дн.	22,73	25,43	15,35	18,78	26,08	23,95	25,97	21,81	
КФХ «Мухаметшин 3.3.»									
Показатель	<i>GPX-1</i>			<i>PON1</i>			<i>FGF21</i>		
	<i>СС</i>	<i>СТ</i>	<i>ТТ</i>	<i>АА</i>	<i>GA</i>	<i>GG</i>	<i>СС</i>	<i>СТ</i>	<i>ТТ</i>
Удой за 305 дней, кг	9,14	11,62	9,17	19,06	18,45	15,62	21,47	16,99	14,15
Массовая доля жира, %	8,01	9,66	9,89	9,03	17,86	7,84	10,22	9,67	9,23
Массовая доля белка, %	6,98	7,26	8,36	8,38	9,94	8,17	11,67	9,97	8,68
Живая масса при 1 осем., кг	6,44	7,51	5,89	6,74	7,82	5,34	8,55	7,50	6,83
Живая масса при 1 отеле, кг	6,34	9,59	7,49	10,05	9,20	7,49	11,81	10,65	5,17
Сервис-период, дн.	36,27	39,89	35,77	71,45	70,47	46,35	48,69	66,34	60,65
Межотельный период, дн.	16,58	19,12	18,93	22,94	22,02	11,36	25,82	19,78	37,28

В популяции коров зарубежной селекции КФХ «Мухаметшин 3.3.» наблюдается сходная тенденция: коровы с генотипом *СС* гена *GPX-1* характеризуются наименьшей вариативностью удою, массовой доле жира и белка в молоке ($Cv = 9,14$; 8,01 и 6,98 соответственно). В это же время животные генотипа *ТС* ассоциированы с повышенной изменчивостью удою ($Cv = 11,62$),

живой массы при 1 осеменении и 1 отеле ($Cv = 7,51$ и $9,59$), межотельным и сервис-периодами ($Cv = 19,12$ и $39,89$).

Таким образом, в обоих хозяйствах гомозиготные животные с генотипами *СС* по гену *GPX-1* обеспечивают более предсказуемое проявление ряда хозяйственно-полезных признаков по сравнению с гетерозиготными и особями *ТТ*-типа.

Первотелки с генотипом *GG* гена *PONI* в хозяйстве СХПК «ПЗ им.Ленина» являются наиболее стабильными по величине удоя за 305 дн. ($Cv = 12,95$), а также массовой доле жира и белка ($Cv = 10,49$ и $5,10$). Напротив, особи с генотипом *АА* по гену *PONI* обладают максимальной изменчивостью по удою за 305 дн. ($Cv = 17,83$), качественным показателям и живой массе. По воспроизводительным показателям значительную вариативность проявили гетерозиготные *GA*-животные (Cv сервис-период – $75,66$ и межотельный период – $26,08$).

В условиях КФХ «Мухаметшин 3.3.» у зарубежного скота картина изменчивости признаков схожая. Коровы с генотипом *GA* гена *PONI* выделяются аномально высокой нестабильностью по составу молока (Cv массовой доли жира – $17,86$), а животные с генотипом *АА* – по величине удоя за 305 дн. ($Cv = 19,06$). Животные с генотипом *GG* по гену *PONI* в этом хозяйстве проявляют относительно среднюю вариабельность по продуктивным признакам, что указывает на сильное влияние генотип-средового взаимодействия на стабильность проявления признаков, ассоциированных с геном *PONI*. Изменчивость межотельного периода только в разрезе генотипа *GG* проявляет умеренную вариативность ($Cv = 11,36$), а в других генетических группах этот признак принимает вид $Cv > 22,02$ и $22,94$.

Сравнение животных разных генотипов гена *FGF21* в хозяйстве СХПК «ПЗ им.Ленина» показывает, что генотип *ТС* связан с более стабильными показателями по всем оцениваемым признакам.

В поголовье зарубежного скота коровы с гомозиготным генотипом *СС* характеризуются высокой изменчивостью по удою ($Cv = 21,47$) и массовой долей белка ($Cv = 11,67$). Животные с гомозиготным генотипом *ТТ*, напротив,

показывают стабильность продуктивных признаков (удой за 305 дн. $C_v = 14,15$), качественному составу молока и живой массе.

В заключении, можно отметить, что проведенный анализ выявил значительные различия в вариабельности признаков между генотипами внутри каждого гена, причем репродуктивные признаки повсеместно демонстрировали наивысшую изменчивость. Полученные данные свидетельствует о необходимости учета не только средних значений, но и коэффициента вариации при оценке племенной ценности животных для повышения эффективности и предсказуемости селекционного процесса.

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

Анализ коэффициентов фенотипической корреляции между хозяйственно-полезными признаками у коров с разными генотипами СХПК «ПЗ им.Ленина» выявил определенные закономерности (табл. 32). Для всех изученных генов наблюдаются однонаправленные, слабые и умеренные по силе корреляции, что указывает на сходный характер взаимосвязей между признаками в стаде данного хозяйства независимо от генотипа.

По гену *GPX-1* удой коров за 305 дней демонстрирует ожидаемую отрицательную корреляцию с содержанием жира и белка в молоке, при этом сила этой связи минимальна у генотипа ТТ по паре «удой–жир» ($r = -0,22$) и «удой–белок» ($r = -0,15$). Наиболее выраженный антагонизм между удоем и жирномолочностью характерен для гетерозиготного генотипа ТС ($r = -0,28$). Между массовой долей жира и массовой долей белка наблюдается положительная связь, наиболее сильная у генотипа ТТ ($r = +0,58$). Связь удоя с репродуктивными признаками (сервис-период, межотельной период) и живой массы слабая и отрицательная, варьируя незначительно между генотипами.

У животных с разными генотипами гена *PON1* структура корреляций практически идентична. Взаимосвязь удоя с компонентами молока носит

слабоотрицательный характер (от $r = -0,23$ до $r = -0,16$), и еще слабее с репродуктивными циклами – от $-0,04$ до $-0,06$. Положительная связь между содержанием жира и белка является наиболее стабильной по силе среди всех анализируемых пар признаков (от $0,53$ до $0,57$).

Таблица 32 – Корреляционная зависимость племенных и продуктивных качеств коров с разными генотипами генов *GPX-1*, *PON1*, *FGF21*

СХПК «ПЗ им. Ленина»									
Показатель	<i>GPX-1</i>			<i>PON1</i>			<i>FGF 21</i>		
	<i>CC</i>	<i>TC</i>	<i>TT</i>	<i>AA</i>	<i>GA</i>	<i>GG</i>	<i>CC</i>	<i>TC</i>	
Удой 305 дн., кг – массовая доля жира, %	-0,25	-0,28	-0,22	-0,27	-0,23	-0,25	-0,26	-0,24	
Удой 305 дн., кг – массовая доля белка, %	-0,18	-0,21	-0,15	-0,20	-0,16	-0,18	-0,19	-0,17	
Массовая доля жира, % – массовая доля белка, %	+0,55	+0,52	+0,58	+0,53	+0,57	+0,55	+0,54	+0,56	
Удой 305 дн., кг – живая масса при 1 отеле, кг	+0,15	+0,12	+0,17	+0,13	+0,15	+0,14	+0,14	+0,16	
Удой 305 дн., кг – сервис-период, дн.	-0,08	-0,10	-0,05	-0,09	-0,06	-0,08	-0,09	-0,07	
Удой 305 дн., кг – межотельный период, дн.	-0,05	-0,07	-0,03	-0,06	-0,04	-0,05	-0,06	-0,04	
КФХ «Мухаметшин 3.3.»									
Показатель	<i>GPX-1</i>			<i>PON1</i>			<i>FGF21</i>		
	<i>CC</i>	<i>CT</i>	<i>TT</i>	<i>AA</i>	<i>GA</i>	<i>GG</i>	<i>CC</i>	<i>CT</i>	<i>TT</i>
Удой 305 дн., кг – массовая доля жира, %	-0,31	-0,29	-0,27	-0,38	-0,35	-0,42	-0,35	-0,32	-0,25
Удой 305 дн., кг – массовая доля белка, %	-0,35	-0,33	-0,31	-0,32	-0,30	-0,36	-0,22	-0,20	-0,18
Массовая доля жира, % – массовая доля белка, %	+0,73	+0,70	+0,67	+0,68	+0,65	+0,72	+0,61	+0,65	+0,68
Удой 305 дн., кг – живая масса при 1 отеле, кг	+0,15	+0,13	+0,18	+0,25	+0,23	+0,28	+0,12	+0,15	+0,17
Удой 305 дн., кг – сервис-период, дн.	-0,08	-0,11	-0,06	-0,18	-0,16	-0,21	-0,15	-0,12	-0,10
Удой 305 дн., кг – межотельный период, дн.	-0,06	-0,08	-0,04	-0,15	-0,13	-0,17	-0,12	-0,09	-0,08

Анализ гена *FGF21* в поголовье отечественного скота показывает, что генотип *CC* характеризуется несколько более слабыми отрицательными связями

удоя с живой массы ($r = 0,14$) по сравнению с генотипом ТС ($r = 0,16$). В целом, для данной популяции можно заключить, что генотипы по изучаемым генам не оказывают резкого влияния на направленность и силу фенотипических взаимосвязей, что свидетельствует о стабильных условиях реализации генетической программы.

В поголовье скота зарубежной селекции КФХ «Мухамметшин 3.3.» выявлена более сложная и вариабельная картина фенотипических корреляций, которая существенно зависит от генотипа животных, что указывает на сильное влияние генотип-средового взаимодействия.

Для гена *GPX-1* наблюдается изменение направленности ключевых корреляций. Связь между массовой долей жира и белка в молоке является положительной для всех генотипов, достигая силы у генотипа СС ($r = +0,73$). При этом отрицательная связь удоя с содержанием жира и белка выражена сильнее именно у этого генотипа ($r = -0,31$ и $r = -0,35$ соответственно), что свидетельствует о более напряженном антагонизме между продуктивностью и качеством молока у этих животных.

Наиболее сильные генотипические различия в зависимости признаков характерны для гена *PONI*. Генотип GG ассоциирован с наиболее сильным отрицательным влиянием удоя на содержание жира ($r = -0,42$) и белка ($r = -0,36$). Важно отметить, что в этом хозяйстве у животных с генотипами AA, GA и GG по гену *PONI* выявлена положительная корреляция между удоем и живой массой при 1 отеле ($\max r = 0,23-0,28$), тогда как в другом хозяйстве она была на уровне $r = 0,13-0,15$. Это подчеркивает, что один и тот же генотип может по-разному модулировать взаимосвязи признаков в различных условиях содержания.

Для гена *FGF21* выявлена четкая тенденция ослабления отрицательной связи между удоем и компонентами молока при переходе от генотипа СС к ТТ. Например, корреляция «удой – массовая доля белка» ослабевает от $r = -0,22$ (СС) до $r = -0,18$ (ТТ). Это позволяет предположить, что генотип ТТ в условиях данного хозяйства в меньшей степени способствует проявлению антагонизма между продуктивностью и

качеством молока. Сила отрицательной связи удоя с репродуктивными признаками также максимальна для гомозиготного генотипа СС.

Вышеизложенное указывает на то, что в популяции скота зарубежной селекции генотип оказывает существенное влияние на силу, и в некоторых случаях, направленность корреляций, что необходимо учитывать при планировании селекционного процесса. Таким образом, коэффициент корреляции является важным инструментом понимания взаимосвязей между признаками, что позволяет оптимизировать селекцию, избегая негативных последствий и усиливая эффективность отбора по комплексным продуктивным качествам.

2.2.7 Оценка коров голштинской породы отечественной селекции по комплексному классу и вариативности наследования племенных качеств

Оценка экстерьера и комплексных классов племенного скота представляет собой важный инструмент селекционного процесса, позволяющий на основе анализа морфофункциональных особенностей животных прогнозировать их продуктивное долголетие и племенную ценность. Такой анализ включает детальную оценку телосложения по линейным и комплексным признакам дает возможность выявить взаимосвязь между экстерьерными особенностями и хозяйственно-полезными признаками. Определение комплексного класса на основе сочетания экстерьерной оценки и показателей продуктивности позволяет осуществлять более точный отбор племенных животных, поскольку оптимальное развитие вымени и правильное телосложение напрямую влияют на продолжительность хозяйственного использования и устойчивость к технологическому стрессу. Своевременная оценка экстерьера способствует формированию в стаде единого типа животных, соответствующего стандартам породы, при этом особое внимание уделяется признакам, имеющим высокую наследуемость и корреляцию с продуктивностью. Интеграция экстерьерной оценки в систему племенного учета создает основу для эффективного управления генетическим прогрессом в стаде.

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

По итогам бонитировки первотелок отечественной селекции в СХПК «ПЗ им. Ленина» были установлены комплексные классы («Элита-рекорд», «Элита», «1 класс», «2 класс») в разрезе полиморфных групп гена *GPX-1*. В КФХ «Мухаметшин 3.3.» такая оценка не проводилась, так как хозяйство не имеет статуса племенного завода или племенного репродуктора, и т.д., а является товарным хозяйством.

В целом, оценка экстерьера показала, что вариативность распределения комплексных классов имеет взаимосвязь с идентифицированным тем или иным генотипом (рис. 5).

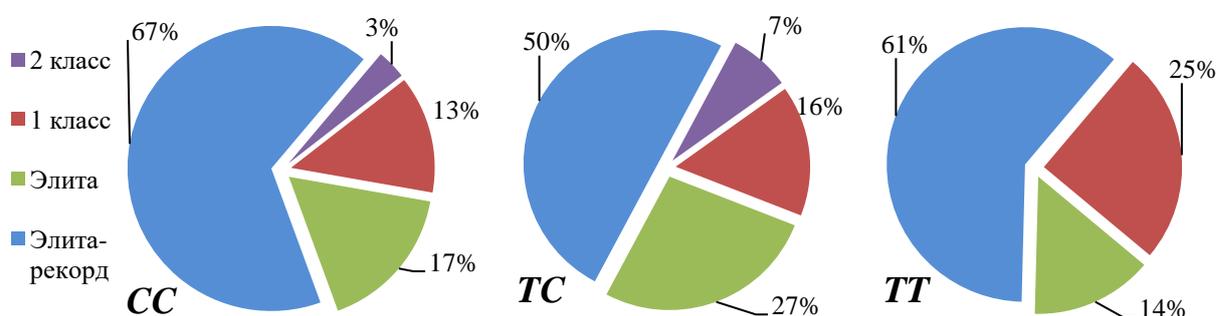


Рисунок 5 – Распределение комплексных классов в популяции коров отечественной селекции (СХПК «ПЗ им. Ленина») по гену *GPX-1*

На диаграммах детально показаны доли (%) коров, имеющих классы «Элита-рекорд», «Элита», а также 1-й и 2-й комплексный класс, присвоенные после оценки по признакам экстерьера. У животных с генотипом CC ярко выражено преобладание коров с высшим классом «Элита-рекорд» (67%) и незначительно количество особей 2-го класса (3%), что свидетельствует о высоких показателях экстерьера. В совокупности по категориям «Элита-рекорд» и «Элита» животные этого генотипа имеют явное преимущество (84%) от общего поголовья этой генетической группы.

Наименьшая доля «рекордисток» зафиксирована у гетерозиготных особей (50%), однако высока численность коров класса «Элита» (27%), что позволят этим животным сохранять хороший баланс, несмотря на то, что в структуре этой субпопуляции самый высокий процент коров 2-го класса (7%).

В группе с генотипом TT совсем отсутствуют представители 2-го класса, однако, среди них наибольшее число коров (25%) – имеют 1-й класс, что превышает суммарное количество голов 1-го и 2-го класса (16 и 23 %) у животных с генотипами CC и TC соответственно. Но в то же время у особей, имеющих генотип TT, вторая по численности для коров класса «Элита-рекорд» – 61%.

Таким образом, анализ распределения комплексных классов выявил выраженные различия между животными разных генотипов гена *GPX-1*.

Наибольшую долю особей высшего класса «Элита-рекорд» показал генотип СС, в то время, как гомозиготная ТТ группа демонстрирует сбалансированность по классам, при полном отсутствии низшего класса, но количественно уступая в высшем.

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

В разрезе полиморфизма гена *PONI* диаграммы по процентному соотношению комплексных классов коров разных генотипов наблюдается следующая тенденция (рис. 6). Класс «Элита-рекорд» является доминирующей для животных генотипом АА (70%). В равных долях имеются представители, получившие оценку «Элита» и 1-й класс (по 14%). И крайне малое количество в субпопуляции низшей категории – особей, оцененных как 2-й класс (2%).

Доля коров комплексного класса «Элита-рекорд» с генотипом GА существенно ниже, чем у животных генотипов АА и GС – всего 46%. Среди этой же группы установлена наибольшая доля животных 1-го класса, что в 2 раза больше, чем в генетической группе коров GС-типа (22 против 11%), а также высокий процент 2-го класса, что в 3 раза превышает этот показатель у особей генотипа АА (6 против 2%). Более, чем ¼ от оцененного поголовья первотелок с генотипом GА (28%) соответствуют лишь 1-му и 2-му классу.

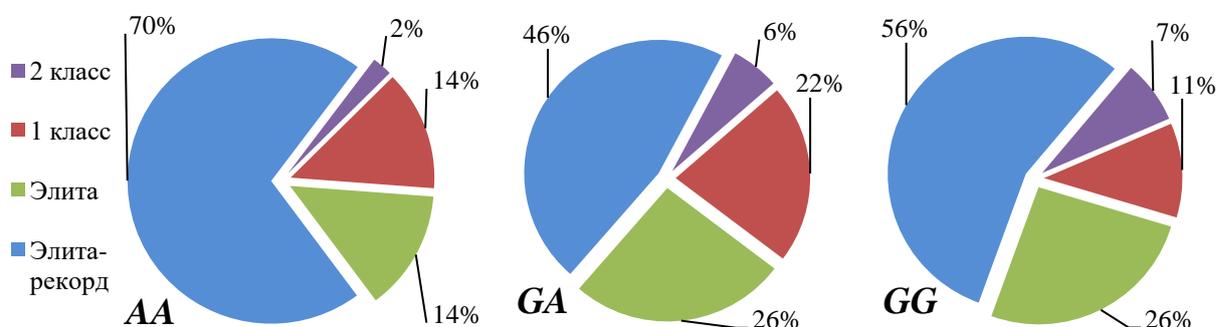


Рисунок 6 – Распределение комплексных классов в популяции коров отечественной селекции (СХПК «ПЗ им. Ленина») по гену *PONI*

По численности категории «Элита-рекорд» (56%) и по совокупности классов «Элита-рекорд» и «Элита» (82%) коровы с генотипом GG занимают промежуточное положение. Эта генетическая группа характеризуется минимальным количеством животных 1-го класса (11%), но имеет наибольшее число особей 2-го класса (7%), по сравнению со сверстницами генотипом AA и GA.

Таким образом, у животных с генотипом AA гена *PONI* прослеживается наиболее благоприятная структура распределения по классам, тогда как у гетерозигот показатель класса «Элита-Рекорд» минимальный.

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

Комплексная оценка показателей экстерьера коров с разными генотипами гена *FGF21* в популяции скота отечественной селекции СХПК «ПЗ им. Ленина» показала, что частота категории «Элита-рекорд» идентична для обеих генетических групп и находится на уровне 56%, что чуть выше половины общего числа животных (рис. 7).

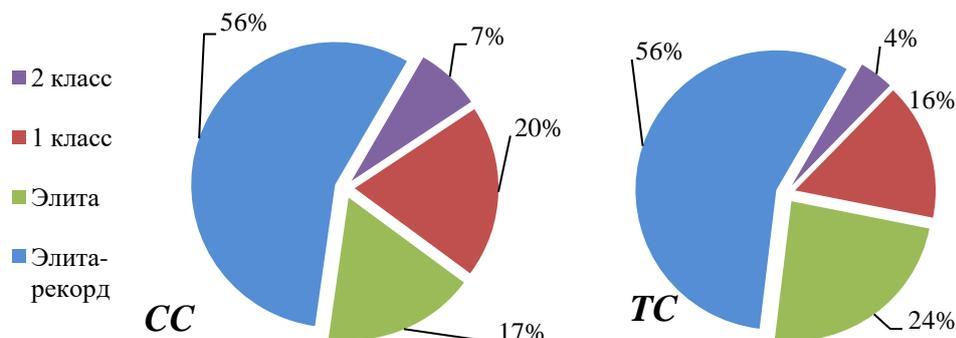


Рисунок 7 – Распределение комплексных классов в популяции коров отечественной селекции (СХПК «ПЗ им. Ленина») по гену *FGF21*

Дальнейший анализ структуры распределения по классам демонстрирует процентное превосходство субпопуляции коров с генотипом TC по встречаемости животных класса «Элита» (24%) и сокращение поголовья 1-го и 2-го класса (16 и

4 %). Суммарное улучшение показателей комплексной оценки соответствует 7%, что зеркально росту «элитных» животных.

Вышепоказанный анализ выявил сходную частоту животных класса «Элита-рекорд», однако гетерозиготные особи показали структурное преимущество за счет большего числа животных класса «Элита» и сокращения доли низших классов.

2.2.7.4 Анализ вариативности наследуемости племенных качеств коров голштинской породы отечественной селекции

Коэффициент наследуемости (h^2) племенных и продуктивных качеств коров отражает долю фенотипической изменчивости признака, которая обусловлена генетическими факторами и передается потомкам. Он показывает степень влияния наследственности на признак и варьирует от 0 до 1. Для племенных коров коэффициенты наследуемости по продуктивности чаще всего находятся в диапазоне 0,20–0,35 по удою и 0,60–0,70 по содержанию массовой доли жира и белка в молоке. Для экстерьерных признаков коэффициент наследуемости различен (от 0,10 до 0,60), по живой массе, например, его величина составляет 0,10–0,40 (Н.А. Попов, 2025; С.А. Гриценко, А.А. Белооков, 2017).

Анализ коэффициентов наследуемости (h^2) хозяйственно-полезных признаков у коров с разными генотипами в СХПК «им. Ленина» позволяет оценить вклад генетической составляющей в их изменчивость и выявить генотип-специфические особенности.

По гену *GPX-1* наивысшая наследуемость удоя за 305 дн. по комплексу «мать отца – дочь» характерна для генотипа СС ($h^2 = 0,41$), что свидетельствует о наибольшем вкладе генетических факторов в изменчивость данного признака у животных с этой аллельной комбинацией. Генотип ТТ гена *GPX-1*, напротив, демонстрирует более низкий показатель ($h^2 = 0,35$). Наследуемость массовой доли жира максимальна у гомозиготного генотипа ТТ ($h^2 = 0,65$), указывая на его потенциальную ценность для селекции на жирномолочность. Аналогичная

тенденция наблюдается при оценке по паре «мать – дочь»: генотип *CC* имеет преимущество по наследуемости удоя ($h^2 = 0,31$), а генотип *TT* – по наследуемости живой массы ($h^2 = 0,34$).

Таблица 33 – Вариативность наследуемости племенных качеств коров отечественной селекции по генам *GPX-1*, *PON1*, *FGF21*

Показатель	<i>GPX-1</i>			<i>PON1</i>			<i>FGF21</i>	
	<i>CC</i>	<i>TC</i>	<i>TT</i>	<i>AA</i>	<i>GA</i>	<i>GG</i>	<i>CC</i>	<i>TC</i>
Удой 305 дн., кг (МО – Д)	0,41	0,38	0,35	0,38	0,36	0,40	0,37	0,39
Массовая доля жира, % (МО – Д)	0,62	0,58	0,65	0,59	0,61	0,64	0,60	0,63
Удой 305 дн., кг (М – Д)	0,31	0,29	0,26	0,29	0,28	0,30	0,27	0,29
Живая масса, кг (М – Д)	0,32	0,29	0,34	0,30	0,31	0,32	0,31	0,33

МО – мать отца, *М* – мать, *Д* – дочь

Генотип *GG* гена *PON1* характеризуется высокими показателями наследуемости как удоя ($h^2 = 0,40$), так и массовой доли жира ($h^2 = 0,64$) при оценке по матери отца. Это сочетание делает данный генотип перспективным для одновременной селекции на продуктивность и качество молока. Генотип *AA* гена *PON1* показывает чуть менее высокую наследуемость удоя ($h^2 = 0,38$), тогда как гетерозиготный вариант *GA* демонстрирует умеренные значения по всем анализируемым признакам. При оценке наследуемости по паре «мать – дочь» наблюдается сходная картина с сохранением лидерства генотипа *GG* по удою ($h^2 = 0,30$) и живой массе при 1 отеле ($h^2 = 0,32$).

Генотип *TC* гена *FGF21* демонстрирует наиболее высокую наследуемость удоя как по паре «мать отца – дочь» ($h^2 = 0,39$), так и по паре «мать – дочь» ($h^2 = 0,29$). Одновременно этот генотип показывает максимальную наследуемость массовой доли жира ($h^2 = 0,63$) и живой массы ($h^2 = 0,33$). Генотип *CC* гена *FGF21* по всем анализируемым показателям наследуемости уступает гетерозиготному варианту, что свидетельствует о потенциальном преимуществе генотипа *TC* в отношении надежности передачи селекционно-значимых признаков потомству.

Проведенные анализ показывает, что величина коэффициента наследуемости ключевых продуктивных признаков существенно варьирует в зависимости от генотипа по изучаемым генам. Выявленные генотип-специфические особенности подчеркивают важность учета молекулярно-генетической информации для повышения эффективности селекционного процесса. Наибольший интерес представляют генотипы, сочетающие высокие показатели наследуемости по комплексу хозяйственно-полезных признаков.

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

Рентабельность отражает относительную эффективность производства, а прибыль – абсолютный доход, поэтому при равной рентабельности в сельхозпредприятиях прибыль может заметно различаться. При прочих равных условиях (одинаковая себестоимость и рыночная цена 1 кг молока) корова с большим удоем будет приносить большую выручку и потенциально увеличенную прибыль (С.Ю. Харлап, Я.С. Павлова, 2019; Н.Р. Александрова и др., 2019). Это происходит из-за того, что в формуле рентабельности удой входит и в числитель, и в знаменатель, и в этом случае они сокращаются.

По данным агроаналитиков средняя рентабельность молочных ферм в России составляет 23–24 %. Крупные хозяйства (от 1000 гол.) имеют рентабельность выше 25–30 %, а при оптимизации затрат и высоком качестве поголовья она может достигать 33–40 % и более (www.marino-agro.ru). По данным Минсельхоза РФ, в некоторых регионах, например, в Краснодарском крае, средний показатель доходит до 40% (www.tass.ru).

Показатель рентабельности молочного производства в сельхозорганизациях Республики Татарстан составляет 31,4 %, а в ряде хозяйств достигает 45,8 % (М.Х. Газетдинов, Р.М. Ибрагимова, 2023).

Согласно полученным данным из экономического отдела опытных хозяйств – СХПК «ПЗ им. Ленина» и КФХ «Мухаметшин 3.3.», на конец 2024 г. себестоимость молока составляла 26,58 и 25,22 руб./кг при цене реализации на молокоперерабатывающий комбинат – 35,63 и 38,22 руб./кг соответственно. Расчеты экономической эффективности использования коров отечественной и зарубежной селекции разных генотипов генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* приведены в таблице 34.

Анализ экономических показателей в СХПК «ПЗ им. Ленина» выявил, что при одинаковой рентабельности продаж молока в хозяйстве (25,40%) от коров с

разными генотипами изучаемых генов наблюдаются значительные различия по объему общей прибыли в зависимости от генотипа.

Таблица 34 – Экономическая эффективность производства молока коров с разными генотипами генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21*

СХПК «ПЗ им. Ленина»									
Показатель	<i>GPX-1</i>			<i>PON1</i>			<i>FGF21</i>		
	<i>CC</i>	<i>TC</i>	<i>TT</i>	<i>AA</i>	<i>GA</i>	<i>GG</i>	<i>CC</i>	<i>TC</i>	<i>TT</i>
Удой 305 дн., кг	6806,2	6742,5	6731,4	6715,3	6369,9	7740,8	6493,5	6851,1	-
МДЖ, %	3,69	3,79	3,76	3,74	3,78	3,76	3,64	3,63	-
Удой базисный (3,4%), кг	7386,7	7515,9	7444,1	7386,8	7081,8	8560,4	6951,9	7314,6	-
Себестоимость, руб./кг	26,58								
Реализация, руб./кг	35,63								
Прибыль от 1 кг, руб.	9,05								
Общая себестоимость, тыс. руб./гол.	196,34	199,77	197,87	196,34	188,24	227,54	184,78	194,42	-
Общая выручка, тыс. руб./гол.	263,19	267,79	265,23	263,19	252,33	305,01	247,69	260,62	-
Рентабельность, %	25,40								
Общая прибыль, тыс. руб./гол.	66,85	68,02	67,37	66,85	64,09	77,47	62,91	66,20	-
КФХ «Мухаметшин 3.3.»									
Показатель	<i>GPX-1</i>			<i>PON1</i>			<i>FGF21</i>		
	<i>CC</i>	<i>TC</i>	<i>TT</i>	<i>AA</i>	<i>GA</i>	<i>GG</i>	<i>CC</i>	<i>TC</i>	<i>TT</i>
Удой 305 дн., кг	7873,6	7620	7578	7187,8	7843,2	8322,7	7186,8	7255,9	7917,9
МДЖ, %	3,62	3,52	3,45	3,74	3,6	3,81	3,36	3,62	3,62
Удой базисный (3,4%), кг	8383,1	7888,9	7689,4	7906,6	8304,6	9326,3	7102,2	7725,4	8430,2
Себестоимость, руб./кг	25,22								
Реализация, руб./кг	38,22								
Прибыль от 1 кг, руб.	13,00								
Общая себестоимость, тыс. руб./гол.	211,42	198,96	193,93	199,40	209,44	235,21	179,12	194,83	212,61
Общая выручка, тыс. руб./гол.	320,40	301,52	293,89	302,19	317,40	356,45	271,45	295,26	322,20
Рентабельность, %	34,01								
Общая прибыль, тыс. руб./гол.	108,98	102,56	99,96	102,79	107,96	121,24	92,33	100,43	109,59

Особь с гетерозиготным генотипом *TC* гена *GPX-1* показали прибыль 68,02 тыс. руб., что несущественно превышает результаты гомозиготных

представителей СС и ТТ – на 1,7 и 1,0 % соответственно. В разрезе гена *PON1* наблюдается значительный разброс. Животные генотипа GG демонстрируют максимальную прибыль – 77,47 тыс. руб., что превосходит результативность сверстниц с генотипами AA и GA на 10,62 и 13,38 тыс. руб. (или 15,9 и 20,9 %) соответственно. Прибыль от коров с генотипом ТС на 3,29 тыс. руб. (5,2%) выше, чем от генотипа СС гена *FGF21*.

Экономическая эффективность производства молока коров различных генетических групп в КФХ «Мухаметшин 3.3.» демонстрирует высокую рентабельность – 34,0%. При сравнении влияния генотипа на результативность установлены ассоциации с абсолютными финансовыми показателями.

По гену *GPX-1* наиболее прибыльными являются животные с генотипом СС, приносящие доход с удоя за стандартную лактацию 108,98 тыс. руб., что на 9,02 тыс. руб. (9,0%) больше прибыли от особей генотипа ТТ, и на 6,42 тыс. руб. (6,3%) больше, чем от гетерозиготных представителей. Среди генотипов гена *PON1* лидирующую позицию с прибылью 121,24 тыс. руб. занимают носители генотипа GG. Этот показатель преимущества над эффективностью использования коров, имеющих генотип GA, составил 13,28 тыс. руб. (12,3%), а над гомозиготами AA-типа – 18,45 тыс. руб. (18,0%). Наибольшая результативность в разрезе гена *FGF21* установлена для генетической ТТ-группы, чей уровень полученной от них прибыли равнялся 109,59 тыс. руб. По сравнению с животными генотипов СС и ТТ установленная разница выше на 17,26 тыс. руб. (18,7%) и 9,16 тыс. руб. (9,1%) соответственно.

Таким образом, сравнение экономической результативности производства молока от коров голштинской породы различной селекции позволило выявить, что разница общей прибыли за стандартную лактацию на одну корову между наиболее и наименее эффективными генотипами в разрезе одного гена может достигать значительных величин: от 3–5 до 20 % в отечественной популяции и от 6 до 19 % – в зарубежной. Это свидетельствует о том, что целенаправленный отбор по конкретным генотипам даже в рамках одного локуса способен при одинаковой рентабельности существенно повысить прибыль.

3 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование полиморфизма генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* у голштинского скота отечественной и зарубежной селекции позволило всесторонне оценить влияние ключевых генов антиоксидантного статуса и энергообмена, получить новые фундаментальные и прикладные данные, значимые для селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве. Анализ показал, что генотипы изучаемых генов оказывают разное влияние на биохимические и иммуноферментные показатели сыворотки крови, молочную продуктивность, качественный состав и физико-химические свойства молока, воспроизводительные качества и динамику уровня живой массы коров голштинской породы отечественной и зарубежной селекции. В ходе работы удалось установить, что полиморфные вариации в генах *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* оказывают значимое влияние на ключевые параметры, связанные с метаболизмом, продуктивностью и здоровьем животных, что подтверждает важность генетических факторов в селекционной работе. У племенных животных отечественной селекции наблюдались различия в распределении комплексных классов в зависимости от генотипа.

Результаты исследования подтверждают значимость учета генетических маркеров в оценке племенных и продуктивных качеств в разведении молочного скота и обосновывают необходимость их использования для улучшения ключевых селекционных признаков и повышения стрессоустойчивости в различных популяциях и при разных производственных системах.

Таким образом, выявленные ассоциации расширяют инструментарий генетической оценки племенных и продуктивных качеств молочного скота. Использование данных о полиморфизме генов *GPX-1*, *PON1* и *FGF21* и включение их в селекционные программы позволит не только повысить точность отбора по хозяйственно-полезным признакам (в соответствии с целевыми индикаторами), но и будет способствовать формированию высокоадаптивных и продуктивных популяций.

Выводы:

- 1) В двух опытных популяциях идентифицированы сбалансированные частоты аллелей Т/С и G/A генов *GPX-1* и *PON1* с преобладанием гетерозигот (ТС – 60,1 и 56,7 %; GA – 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 ($Cv < 7,83-9,14$). 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 ($Cv = 12,95-15,62$);
- 3) Оценка воспроизводительной способности установила, что для отечественного скота оптимальными являются генотипы ТТ гена *GPX-1* и GA 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 GA;

4) Исследование биохимических показателей сыворотки крови коров обеих популяций показало, что животные генотипа *CC* гена *GPX-1* обладают высокой концентрацией глутатионпероксидазы-1 (0,312 и 0,293 Ед./л), коровы с генотипом *GG* гена *PONI* – 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 *CC* 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 *CC* гена *GPX-1*, зафиксировано максимальное количество животных класса «Элита-рекорд» (67,0%), а для генотипа *AA* гена *PONI* этот показатель достиг 70,0% (при увеличении 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 *TC*-особи демонстрировали сбалансированное распределение по другим классам;

6) 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 *PONI* – 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 СС (*GPX-1*), GG (*PON1*) и ТС/ТТ (*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 СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВНВ (β -НВ) – β -гидроксимасляная кислота (β -гидроксibuтират)

Bsc4 I – эндонуклеаза рестрикции из штамма *Bacillus schlegelii* 4

Ca – кальций

CAT – каталаза

Cv – коэффициент вариации

FGF21 – фактор роста фибробластов 21

FGF21 – ген фактор роста фибробластов 21

GPx – глутатионпероксидаза

GPX-1 – ген глутатионпероксидаза-1

GSH – глутатион

НЕВ/НЭБ – негативный энергетический баланс

NEFA – неэтерифицированные жирные кислоты

P – фосфор

PIC – polymorphism information content (информационной индекс полиморфизма)

PON1 – параоксоназа 1

PON1 – ген параоксоназа 1

ROS – reactive oxygen species (активные формы кислорода, АФК)

Se – селен

SOD – супероксиддисмутаза

Xba I – эндонуклеаза рестрикции из штамма *Xanthomonas badrii* 1

АЛТ – аланин-аминотрансфераза

АСТ – аспартатминотрансфераза

ВТ – выход телят

ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота

Ед. – единица

Ед./л – единиц на литр

КВС – коэффициент воспроизводительной способности

кг – килограмм

КФХ – крестьянское фермерское хозяйство

л – литр

мкл – микролитр

МОП – межотельный период

п.о. – пар оснований

пг/мл – пикограмм на миллилитр

ПЗ – племенной завод

РТ – Республика Татарстан

РФ – Российская Федерация

СОМО – сухой обезжиренный молочный остаток

СП – сервис-период

СХПК – сельскохозяйственный производственный кооператив

тыс./об. – тысяча оборотов

тыс./см³ - тысяча на кубический сантиметр

ЭДТА – этилендиаминтетрауксусная кислота

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 27.12.2018 N 498-ФЗ (ред. от 08.08.2024) «Об ответственном обращении с животными и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». – 18 с.
2. ГОСТ Р 52054-2003. Молоко натуральное коровье - сырье. Технические условия. – Москва : Стандартинформ, 2008. – 16 с.
3. Патент № 2774372 С1 Российская Федерация. Способ повышения продуктивности дойных коров различных генотипов гена GPX-1 : № 2021138011 : заявл. 21.12.2021 : опубл. 20.06.2022 / Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Э.Р. Гайнутдинова, З.Ф. Фаттахова ; заявитель ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН».
4. Патент № 2775569 С1 Российская Федерация. Способ повышения продуктивности дойных коров различных генотипов гена PON1 : заявл. 29.11.2021 : опубл. 04.07.2022 / Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Р.М. Ахмадуллин [и др.] ; заявители ФГБУН «Федеральный исследовательский центр "Казанский научный центр РАН», ООО «Научно-технический центр «Ахмадуллины».
5. Патент № 2812476 С1 Российская Федерация. Способ повышения продуктивности дойных коров различных генотипов гена FGF21 : № 2023122084 : заявл. 24.08.2023 : опубл. 30.01.2024 / Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Р.М. Ахмадуллин [и др.] ; заявитель ФГБУН «Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр РАН».
6. Абрамова Н.И. Популяционные параметры продуктивных признаков крупного рогатого скота черно-пестрой породы Вологодской области / Н.И. Абрамова, Г.С. Власова, О.Л. Хромова, Л.Н. Богорадова // АгроЗооТехника. – 2018. – Т. 1, № 1. – С. 4. – DOI 10.15838/alt/2018.1.1.2.
7. Александрова Н.Р. Тенденции и перспективы развития производства молока / Н.Р. Александрова, А.К. Субаева, Л.М. Мавлиева, Н.Л. Титов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15, № 1(57). – С. 94-98. – DOI 10.12737/2073-0462-2020-94-98

8. Алиева А.М. Фактор роста фибробластов 21 (FGF21): диагностические, прогностические и терапевтические аспекты при сердечной недостаточности / А.М. Алиева [и др.] // Consilium Medicum. – 2024. – Т. 26., № 1. – С. 40–44. – DOI: 10.26442/20751753.2024.1.202593
9. Белявцева Е.А. Влияние растворов селенита натрия на показатели неспецифической резистентности новорожденных телят / Е.А. Белявцева, С.В. Полищук // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2017. – № 9 (172). – С. 80–86.
10. Бикчантаев И.Т. Влияние различных доз Сел-Плекса и Лакто-Гаранта в рационах откормочных бычков на их продуктивные качества / И.Т. Бикчантаев, Ш.К. Шакиров // Ученые записки казанской государственной академии ветеринарной медицины им. н.э. Баумана. – 2010. – Т 200. – С. 18–26.
11. Боряев Г.И. Влияние соединений селена на иммунный статус бычков / Г.И. Боряев, А.Ф. Блинохватов, Ю.Н. Федоров, Н.И. Петренко // Ветеринария. 1999. – № 12. – С. 16.
12. Газетдинов М.Х., Ибрагимова Р.М. Превентивная себестоимость молока - теоретический и практический ориентир повышения финансовой устойчивости сельскохозяйственных организаций Республики Татарстан / М.Х. Газетдинов, Р.М. Ибрагимова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2023. – Т. 18, № 4(72). – С. 119-125. – DOI 10.12737/2073-0462-2023-119-125
13. 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 АПК : Сборник X международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 25 апреля 2025 года. – Новосибирск: Агронаука, 2025а. – С. 163-168.
14. 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. – 2025b. – № 4. – С. 49–56. – DOI 10.28983/asj.y2025i4pp49-56

15. 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 науч.-практ. конф. молодых ученых с междунар. участием, посвящ. 300-летию РАН, Казань: АН РТ, 2024а. – С. 120–122. – DOI 10.37071/conferencearticle_67337e40b621f4.03298699
16. Гайнутдинова Э.Р. Воспроизводительные качества голштинского скота с разными генотипами гена глутатионпероксидаза-1 (GPX-1) / Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. – 2020а. – Т. 244, № 4. – С. 65–68. – DOI 10.31588/2413-4201-1883-244-4-65-68
17. 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. – 2023а. – Т. 253, № 1. – С. 54–57. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_1_253_54
18. Гайнутдинова Э.Р. Динамика живой массы голштинского скота отечественной и зарубежной селекции разных генотипов гена FGF21 / Э. Р. Гайнутдинова // Молодые ученые: Современный взгляд на будущее АПК : Сборник X международной научно-практической конференции, р.п. Краснообск, 25 апреля 2025 года. – Новосибирск: Агронаука, 2025с. – С. 159-163.
19. Гайнутдинова Э.Р. ДНК-тестирование полиморфизма гена FGF21-Xba 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 : сб. науч. докл. XXV юбилейного междунар. науч.-практ. форума, 29 нояб. 2022 г. – Краснообск : Агронаука, 2023b. – С. 203–204.
20. 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 : сб. тез. Междунар. науч.-практ. конф., Казань, 28 окт. 2022 г. – Казань : Альянс, 2022. – С. 37–39.

21. 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. – 2025d. – Т. 261, № 1. – С. 58–63. – DOI 10.31588/2413_4201_1883_1_261_58.

22. 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. – 2024b. – № 1. – С. 53–56.

23. Гайнутдинова Э.Р. Совместимость молочной продуктивности и воспроизводительной способности коров-первотелок голштинской породы / Э.Р. Гайнутдинова, Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020b. – Т. 15, № 2(58). – С. 5–9.

24. Горлов И.Ф. Влияние селеносодержащих препаратов на молоко коров / И.Ф. Горлов, В.Н. Храмова, А.И. Сивков // Вестник Российской Академии сельскохозяйственных наук. – 2006. – № 4. – С. 94–96.

25. Гриценко С.А. Особенности наследуемости хозяйственно полезных признаков у коров разных генотипов и поколений / С.А. Гриценко, А.А. Белооков // Главный зоотехник. – 2017. – № 3. – С. 13-20.

26. Дохи Я. Простой метод выражения плодовитости / Я. Дохи // Вестник венгерской сельскохозяйственной науки. – 1961. – №3. – С. 27–29.

27. Дунин И.М. Термины и определения, используемые в селекции, генетике и воспроизводстве сельскохозяйственных животных / И.М. Дунин. – М.: ВНИИПлем, 1996. – 306 с.

28. Евглевский А.А. Дефицит энергии у новотельных коров: проблемы и решения / А.А. Евглевский [и др.] // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2017a. – № 4. – С. 61–63.

29. Евглевский А.А. Проблемы обеспечения здоровья высокопродуктивных коров в промышленном животноводстве и практические пути ее решения / А.А.

Евглевский [и др.] // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017b. – № 4. – С. 26–30.

30. Ефимцева Э.А. Параоксоназа: молекулярно-генетические аспекты и клиническое значение / Э.А. Ефимцева, Т.И. Челпанова // Успехи современной биологии. – 2012. – Т. 132, № 3. – С. 282–296.

31. Зиновьева Н.А. Современные методы генетического контроля селекционных процессов и сертификация племенного материала в животноводстве: учебное пособие / Н.А. Зиновьева, П.М. Кленовицкий, С.А. Гладырь, А.А. Никишов // М. : РУДН, 2008. – 329 с.

32. Зиновьева, Н.А. Генетическая оценка в племенном животноводстве / Н.А. Зиновьева // Современные методы генетики и селекции в животноводстве материалы международной научной конференции. – СПб. – ВНИИГРЖ, 2007. – С. 34–36.

33. Иванова И.П. Селекционно-генетические параметры в селекции молочного скота / И.П. Иванова // Молочнохозяйственный вестник. – 2021. – № 3(43). – С. 59-67. – DOI 10.52231/2225-4269_2021_3_59

34. Кадзаева, З.А. Племенная ценность и продуктивные показатели коров разных пород / З.А. Кадзаева // Известия Горского государственного аграрного университета. – 2014. – Т. 51, № 4. – С. 109–113.

35. Калашников А.П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание переработанное и дополненное. / Под ред. А.П. Калашникова, В.И. Фисина, В.В. Щеглова, Н.И. Клейменова. – Москва. 2003. – 456 с.

36. Калашникова Л.А. Рекомендации по геномной оценке крупного рогатого скота / Л.А. Калашникова [и др.] – Лесные Поляны : ВНИИплем, 2015. – 35 с.

37. Киреев И.В. Клинико-терапевтическое обоснование фармакокоррекции системы антиоксидантной защиты организма сельскохозяйственных животных: дис. ... д-ра биол. наук: 06.02.01 / И.В. Киреев; ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет». – Ставрополь, 2020. – 500 с.

38. Киреев И.В. Состояние системы антиоксидантной защиты коров в условиях технологического стресса / И.В. Киреев, В.А. Оробец // Ветеринарная патология. – 2017. – №2. – С.39–46.
39. Клечковский М. Зависимость между острофазовым ответом, оксидативным статусом и маститом у коров / М. Клечковский, В. Ключинский, Т. Якубовский, Е. Кудыба // Российский ветеринарный журнал. – 2012. – № 3. – С. 46–51.
40. Козина Е.А. Нормированное кормление животных и птицы. Ч. I. Кормление жвачных животных: учеб. пособие / Е.А. Козина, Т.А. Полева; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2012. – 250 с.
41. Конвай В.Д. Метаболические нарушения у высокопродуктивных коров / В.Д. Конвай, М.В. Заболотных // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2017. – № 3(27). – С. 130–136.
42. Кононов В.П. Проблемы совместимости высокой молочной продуктивности, воспроизводительной способности и продуктивной жизни коров в современном скотоводстве / В.П. Кононов // Зоотехния. – 2013. – № 1. – С. 40–45.
43. Крамаренко Н.М. Организация воспроизводства стада и племенной работы в условиях промышленной технологии производства молока / Н.М. Крамаренко. – М. : Колос, 1974. – 209 с.
44. Крупин Е.О. Ассоциация молочной продуктивности, содержания жира и белка в молоке коров с полиморфизмом по генам GN и TG5 при сбалансированном кормлении / Е.О. Крупин, Ш.К. Шакиров // Достижения науки и техники АПК. – 2019. – Т. 33, № 10. – С. 62–66. – DOI 10.24411/0235-2451-2019-11014.
45. Крупин Е.О. Обмен веществ у крупного рогатого скота в условиях нестабильности кормовой базы и климата / Е.О. Крупин, Ш.К. Шакиров, М.Г. Зухрабов, Д.М. Калашников. – Казань : ФЭН, 2021. – 264 с. – ISBN 978-5-9690-0919-6.
46. Кузнецов В.М. Кормовые средства в рационах крупного рогатого скота Сахалинской области : монография / В.М. Кузнецов; Сахалинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства. – Чебоксары: Среда, 2022. – 300 с.

47. Матейкович П.А. Глутатионпероксидаза как фермент системы антиоксидантной защиты клеток / П.А. Матейкович // *International Scientific Journal*. – 2016. – Т 3, №6. – С.3-28.
48. Меркурьева Е.К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных / Е.К. Меркурьева // М.: Колос, 1970. – 422 с.
49. Меркурьева Е.К. Генетика с основами биометрии / Е.К. Меркурьева, Г.Н. Шангин-Березовский. – М. : Колос, 1983. – 400 с. – (Учеб. и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).
50. Минсельхоз назвал молочную отрасль одной из самых поддерживаемых в АПК России [Электронный ресурс] // ТАСС. – 05.08.2025. – Режим доступа: <https://tass.ru/ekonomika/24707751> (дата обращения: 01.09.2025).
51. Мищенко В.А. Метаболический иммунодефицит у высокопродуктивного крупного рогатого скота / В.А. Мищенко, А.В. Мищенко, Г.В. Гладилин // Проблемы и перспективы научно-инновационного обеспечения агропромышленного комплекса регионов : Сборник докладов Международной научно-практической конференции // Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Курский федеральный аграрный научный центр", 2019. – С. 614–618.
52. Мкртчян Г В. Корреляция признаков молочной продуктивности у потомков племенных быков разных линий / Г.В. Мкртчян, А.В. Бакай, А.Н. Кровикова // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2015. – № 20-1. – С. 167-170.
53. Плохинский Н.А. Биометрия. Учебное пособие для студентов биологических специальностей университетов / Н.А. Плохинский // М.: Колос. – 1970. – 368 с.
54. Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников / Н.А. Плохинский // М.: Колос, 1969. – 255 с. : табл. 0–74.
55. Попов Н.А. Определение коэффициентов наследуемости признаков молочности разными способами / Н.А. Попов // Молочное и мясное скотоводство. – 2025. – № 3. – С. 27-31. – DOI 10.33943/MMS.2025.98.98.006

56. Прищеп Е. А. Связь признаков молочной продуктивности коров-первотелок швицкой породы СПК «Суворовский» Смоленской области / Е.А. Прищеп, А.С. Герасимова, Д.В. Сысоинкова // Аграрный научный журнал. – 2024. – № 5. – С. 118-124. – DOI 10.28983/asj.y2024i5pp118-124.
57. Рязанцева Л.Т. Ферменты-антиоксиданты: структурно-функциональные свойства и роль в регулировании метаболических процессов / Л.Т. Рязанцева // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 2. С. 126–129.
58. Рентабельность молочного сектора в России превысила 28% [Электронный ресурс] // ООО «Марьино». – 11.08.2025. – Режим доступа: <https://marino-agro.ru/news/rentabelnost-molochnogo-sektora-v-rossii-prevysila-28/> (дата обращения: 01.09.2025).
59. Сафина Н.Ю. Актуальность поиска маркеров и индикаторов термотолерантности у крупного рогатого скота (обзор) / Н.Ю. Сафина, Е.Н. Муханина, Ш.К. Шакиров, Э.Р. Гайнутдинова // Международный вестник ветеринарии. – 2025. – № 2. – С. 190–200. DOI 10.52419/issn2072-2419.2025.2.190
60. Сафина Н.Ю. Ассоциация полиморфизма гена коэнзим Q9 (COQ9) с показателями репродуктивных качеств голштинских коров / Н.Ю. Сафина, З.Ф. Фаттахова, Э.Р. Гайнутдинова, Ш.К. Шакиров // Российская сельскохозяйственная наука. – 2023. – № 3. – С. 59-62. – DOI 10.31857/S2500262723030110
61. Сафина Н.Ю. Влияние возраста осеменения на показатели воспроизводительной способности коров-первотелок голштинской породы / Н.Ю. Сафина // Использование современных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности : материалы конф., пос. Персиановский, 28 апр. 2021 г. – пос. Персиановский : Донской ГАУ, 2021. – С. 342-345.
62. Сафина Н.Ю. 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. – 2022а. – № 4. – С. 314-321. – DOI 10.52419/issn2072-2419.2022.4.314

63. Сафина Н.Ю. 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. – 2022b. – № 8. – С. 61-65. – DOI 10.28983/asj.y2022i8pp61-65
64. Сафина Н.Ю. 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. – 2020a. – № 7. – С. 37-40. – DOI 10.33943/MMS.2020.75.68.009
65. Сафина Н.Ю. Генетическая основа адаптивных качеств и термотолерантности крупного рогатого скота (обзор) / Н.Ю. Сафина // Аграрный научный журнал. – 2025. – № 7. – С. 90-96. – DOI 10.28983/asj.y2025i7pp90-96
66. Сафина Н.Ю. 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. – 2020b. – Т 242(II). – С. 149-153. DOI 10.31588/2413-4201-1883-242-2-149-153
67. Сафина Н.Ю. 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. – 2020c. – Т. 15, № 3(59). – С. 43-48. – DOI 10.12737/2073-0462-2020-43-48
68. Сафина Н.Ю. Совместимость высокой молочной продуктивности и воспроизводительной способности коров-первотелок голштинской породы в разрезе полиморфизма гена лептин (LEP) / Н.Ю. Сафина, Ш.К. Шакиров, Ю.Р. Юльметьева, Т.М. Ахметов // Ветеринарный врач. – 2018. – № 6. – С. 57–60.
69. Сафина Н.Ю. Характеристика молочной продуктивности коров-первотелок с разными генотипами соматотропина (GH) / Н.Ю. Сафина, И.Ю. Гилемханов, Ф.Ф. Зиннатова, Ш.К. Шакиров // Вестник Казанского государственного аграрного

университета. – 2019. – Т. 14, № 3(54). – С. 58–61. – DOI: 10.12737/article_5db9535ed384a3.87060395

70. Тюлькин С.В. Влияние генотипа коров на их продуктивность и качество молока / С.В. Тюлькин // Пищевые системы. – 2018. – Т. 1, № 3. – С. 38–43. – DOI: 10.21323/2618-9771-2018-1-3-38-43;

71. Фаттахова З.Ф. Оценка экстерьера голштинской породы и голштинизированного крупного рогатого скота : Справочник / З.Ф. Фаттахова [и др.]. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Казань : Логос-Пресс, 2025. – 48 с. – ISBN 978-5-00205-084-0.

72. Федорова М.А. Инновационное технологическое развитие молочного скотоводства: формирование производственного потенциала отрасли / М.А. Федорова // Фундаментальные исследования. – 2020. – № 6. – С. 162–166. – DOI: 10.17513/fr.42794

73. Харлап С.Ю., Павлова Я.С. Оценка эффективности использования коров разного возраста / С.Ю. Харлап, Я.С. Павлова // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3(56). – С. 87-93. – DOI 10.24411/2078-1318-2019-13087

74. Хелари Э. В-Traxim Se: высокая продуктивность во все времена / Э. Хелари // Животноводство России. – 2012. – № 1. – С. 56-57.

75. Хлесткина Е.К. Молекулярные маркеры в генетических исследованиях и в селекции / Е.К. Хлесткина // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2013. – Т. 17(4/2). – С. 1044–1054.

76. Холодова Л.В. Характеристика племенных и продуктивных качеств айрширского скота, разводимого в условиях Республики Марий Эл / Л.В. Холодова // Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. – 2023. – Т. 9, № 1(33). – С. 70-78. – DOI: 10.30914/2411-9687-2023-9-1-70-78

77. Шайдуллин Р.Р. Взаимосвязь показателей молочной продуктивности у коров с разными генотипами соматотропина и пролактина / Р.Р. Шайдуллин [и др.] //

Молочное и мясное скотоводство. – 2023. – № 2. – С. 10–14. – DOI: 10.33943/MMS.2023.46.38.003

78. Шайдуллин Р.Р. Доля влияния различных факторов на уровень молочной продуктивности коров с разными генотипами CSN3 и DGAT1 / Р.Р. Шайдуллин, А.С. Ганиев // Агробиотехнологии и цифровое земледелие. – 2024. – № 3(11). – С. 67–72. – DOI: 10.12737/2782-490X-2024-67-72

79. Шакиров Ш.К. Современные технологии в кормопроизводстве и животноводстве, проблемы и пути их решения (500 вопросов и ответов) : справочник / Ш.К. Шакиров [и др.]. – 4-е изд., дораб. и доп. – Казань : Акад. наук Респ. Татарстан, 2023. – 416 с. – ISBN 978-5-9690-1188-5.

80. Шакиров Ш.К. Эффективность скармливания различных форм селена коровам для получения высокоселенированного молока / Ш.К. Шакиров, Д. Портнов, А.Х. Волков // Молочное и мясное скотоводство. – 2009. – № 6. – С. 18-20.

81. Шилкина Л.В. Стресс / Л.В. Шилкина // Ветеринария сельскохозяйственных животных. – 2007. – №8. – С.12.

82. Шкуратова И.А. Биохимический профиль высокопродуктивных коров голштинской породы при первичном кетозе / И.А. Шкуратова, А.И. Белоусов, А.С. Красноперов, С.В. Малков // Ветеринария Кубани. – 2022. – № 4. – С. 7–9. – DOI: 10.33861/2071-8020-2022-4-7-9

83. Штарке А. Синдром мобилизации липоидов коров молочного направления - как изменяется печень? / А. Штарке // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. – 2015. – № 12. – С. 31–37.

84. Юдин В.М. Продуктивные и воспроизводительные качества коров на фоне применения инбредной и аутбредной форм подбора быков / В.М. Юдин [и др.] // Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 2 (74). – С 49–55. – DOI 10.48012/1817-5457_2023_2_49-55

85. Юльметьева Ю.Р. Влияние генетических аспектов на динамику молочной продуктивности голштинского скота / Ю.Р. Юльметьева [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2015. – Т. 29, № 11. – С. 99–101.

86. Abbas S. Evaluation of serum analytes in pregnant and non-pregnant dairy cows as indicators of pregnancy / S. Abbas [et al.] // *South African Journal of Animal Science*. – 2020. – Vol. 50(5). – P. 767–772. – DOI 10.4314/sajas.v50i5.15
87. Abuelo A. Oxidative stress index (OSi) as a new tool to assess redox status in dairy cattle during the transition period / A. Abuelo, J. Hernández, J.L. Benedito, C. Castillo // *Animal*. – 2013. – No. 7(8). – P.1374–1378. – DOI: 10.1017/S1751731113000396
88. Abuelo A. Redox Biology in Transition Periods of Dairy Cattle: Role in the Health of Periparturient and Neonatal Animals / A. Abuelo, J. Hernández, J.L. Benedito, C. Castillo // *Antioxidants*. – 2019. – No. 8. – P. 20. – DOI: 10.3390/antiox8010020
89. Abuelo A. The importance of the oxidative status of dairy cattle in the periparturient period: Revisiting antioxidant supplementation / A. Abuelo, J. Hernández, J.L. Benedito, C. Castillo // *Anim Physiol Anim Nutr*. – 2014. – No. 99(6). – P. 1003–1016. – DOI: 10.1111/jpn.12273
90. Akbar H. Alterations in hepatic FGF21, co-regulated genes, and upstream metabolic genes in response to nutrition, Ketosis and Inflammation in Peripartal Holstein Cows / H. Akbar [et al.] // *PLoS One*. – 2015. – Vol. 10, No. 10. – Art. e0139963. – DOI: 10.1371/journal.pone.0139963
91. Andrei S. Glutathione peroxidase activity and its relationship with somatic cell count, number of colony forming units and protein content in subclinical mastitis cows milk / S. Andrei [et al.] // *Romanian Biotechnological Letters*. – 2011. – Vol. 16(3). – P. 6209–6217.
92. Bademkiran S. Serum Paraoxonase-1 Activity in dairy cattle and its association with Dystocia / S. Bademkiran [et al.] // *Journal of Animal and Veterinary Advances*. – 2008. – Vol. 7 (10). – P. 1184–1189. – ISSN:1680-5593
93. Badman M.K. Hepatic fibroblast growth factor 21 is regulated by PPARalpha and is a key mediator of hepatic lipid metabolism in ketotic states / M.K. Badman [et al.] // *Cell Metab*. – 2007. – Vol. 5(6). – P. 426–437. – DOI: 10.1016/j.cmet.2007.05.002
94. Beam S.W. Energy balance and ovarian follicle development prior to the first ovulation postpartum in dairy cows receiving three levels of dietary fat. / S.W. Beam,

- W.R. Butler // *Biol Reprod.* – 1997. – Vol. 56(1). – P. 133–142. – DOI: 10.1095/biolreprod56.1.133
95. Behne D. Mammalian Selenium-Containing Proteins / D. Behne, A. Kyriakopoulos // *Annu Rev Nutr.* – 2001. – No 21. – P. 453–473. DOI: 10.1146/annurev.nutr.21.1.453
96. Bell A.W. Regulation of organic nutrient metabolism during transition from late pregnancy to early lactation / A.W. Bell // *Journal of Animal Science.* – 1995. – Vol. 73. – P. 2804–2819. – DOI: 10.2527/1995.7392804x
97. Benedet A. Invited review: β -hydroxybutyrate concentration in blood and milk and its associations with cow performance / A. Benedet [et al.] // *Animal.* – 2019. – Vol. 13(8). – P. 1676–1689. – DOI: 10.1017/S175173111900034X
98. Bernabucci U. Influence of body condition score on relationships between metabolic status and oxidative stress in periparturient dairy cows / U. Bernabucci, B. Ronchi, N. Lacetera, A. Nardone // *J Dairy Sci.* – 2005. – Vol. 88(6). – P. 2017–2026. – DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72878-2
99. Bernabucci U. Markers of oxidative status in plasma and erythrocytes of transition dairy cows during hot season / U. Bernabucci, B. Ronchi, N. Lacetera, A. Nardone // *J Dairy Sci.* – 2002. – Vol. 85(9). – P. 2173–2179. – DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(02)74296-3
100. Bionaz M. Plasma paraoxonase, health, inflammatory conditions, and liver function in transition dairy cows / Bionaz M. [et al.] // *J. Dairy Sci.* – 2007. – Vol. 90. – P. 1740–1750. – DOI: 10.3168/jds.2006-445
101. Blatter M.C. Identification of a distinct human high-density lipoprotein subspecies defined by a lipoprotein-associated protein, K-45. Identity of K-45 with paraoxonase / M.C. Blatteret [et al.] // *European Journal of Biochemistry.* – 1993. – Vol. 211. – P. 871-879. – DOI: 10.1111/j.1432-1033.1993.tb17620.x
102. Bobe G. Invited review: pathology, etiology, prevention, and treatment of fatty liver in dairy cows. / G. Bobe., J.W. Young, D.C. Beitz // *J Dairy Sci.* – 2004. – Vol. 87. – P. 3105–3124. – DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73446-3

- 103.Boettcher B.R. Nucleic acids encoding FGF21-FC function proteins / B.R. Boettcher [et al.] // Patent No: US 011129874 B2 / Novartis AG. – Prior publ. data 30.08.2018; № 16/117,960; data of patent 28.09.2021. – 72 p.
- 104.Bossaert P. The association between indicators of inflammation and liver variables during the transition period in high-yielding dairy cows: An observational study / P. Bossaert [et al.] // Vet J. – 2012. – Vol. 192(2). – P. 222–225. – DOI: 10.1016/j.tvjl.2011.06.004
- 105.Brophy V.H. Effects of 5' Regulatory-Region Polymorphisms on Paraoxonase-Gene (PON1) Expression / V.H. Brophy [et al.] // Am. J. Hum. Genet. – 2001. – Vol. 68. – P.1428–1436. – DOI: 10.1086/320600
- 106.Butler W.R. Energy balance relationships with follicular development, ovulation and fertility in postpartum dairy cows / W.R. Butler // Livest Prod Sci. – 2003. – Vol. 83(2). – P. 211–218. – DOI:10.1016/S0301-6226(03)00112-X
- 107.Çaliskan B. Antioxidant and Oxidative Stress / B. Çaliskan, A. Çaliskan // Antioxidants. – 2021. – ISBN 978-1-83968-865-2. – DOI:10.5772/intechopen.96643
- 108.Cardoso F.C. Symposium review: nutrition strategies for improved health, production, and fertility during the transition period / F.C. Cardoso, K.F. Kalscheur, J.K. Drackley // Journal of Dairy Science. – 2020. – Vol. 103. – P. 5684–5693. – DOI.org/10.3168/jds.2019-17271
- 109.Casado A. Lipid peroxidation and antioxidant enzyme activities in vascular and Alzheimer disease / A. Casado, M.E. López-Fernández, M.C. Casado, R. de La Torre // Neurochem Res. – 2008. – Vol. 33(3). – P. 450–458. – DOI: 10.1007/s11064-007-9453-3
- 110.Castillo C. Plasma malonalde-hyde(MDA) andtotalantioxidantstatus (TAS) duringlactation in dairy cows / C. Castillo [et al.] // Research in Veterinary Science. – 2006. – Vol. 80(2). – P. 133–139. – DOI: 10.1016/j.rvsc.2005.06.003
- 111.Castillo C. Oxidative status during late pregnancy and early lactation in dairy cows / C. Castillo [et al.] // Veterinary Journal. – 2005. – Vol. 169. – No. 2. – P. 286–292. – DOI.org/10.1016/j.tvjl.2004.02.001

112. Castro N.A. Single nucleotide polymorphisms in the promoter region of the paraoxonase 1 gene in *Bos indicus* cows / N.A. Castro [et al.] // *Brazilian Journal of Development*. – 2021. Vol. 7 (5). – P. 48315–48322. – DOI:10.34117/bjdv7n5-301
113. Chen H. Metabolomics Reveals the Effects of High Dietary Energy Density on the Metabolism of Transition Angus Cows / H. Chen, C. Wang, S. Huasai, A. Chen // *Animals*. – 2022. – Vol. 12(9). – Art. 1147 – DOI: 10.3390/ani12091147
114. Chen S. Exposure to heat-stress environment affects the physiology, circulation levels of cytokines, and microbiome in dairy cows / S. Chen. [et al.] // *Sci Rep*. – 2018. – Vol. 8(1). – Art. 14606. – DOI: 10.1038/s41598-018-32886-1
115. Chen Yu. Effects of exogenous Fibroblast Growth Factor-21 on characteristic parameters related to energy metabolism in dairy cows / Yu. Chen // *Medycyna Weterynaryjna*. – 2019. – Vol. 75 (12). – P. 738–743. – DOI: dx.doi.org/10.21521/mw.6343
116. Cho K.H. A reconstituted high density lipoprotein containing the V156E mutant of apolipoprotein A-I exhibits anti-atherosclerotic activity in Apo-E deficient mice / K.H. Cho // *Journal of Atherosclerosis and Thrombosis*. – 2009. – Vol. 16(3). – P. 217–229. – DOI: 10.5551/jat.509
117. Colakoglu H.E. Evaluation of the relationship between milk glutathione peroxidase activity, milk composition and various parameters of subclinical mastitis under seasonal variations / H.E. Colakoglu [et al.] // *Veterinarski Arhiv*. – 2017a. – Vol. 87 (5). – P. 557-570. – DOI: 10.24099/vet.arhiv.160728
118. Colakoglu H.E. MDA and GSH-Px Activity in Transition Dairy Cows Under Seasonal Variations and their Relationship with Reproductive Performance / H.E. Colakoglu [et al.] // *J Vet Res*. – 2017b. – Vol. 61(4). – P.497-502. – DOI: 10.1515/jvetres-2017-0067
119. Collier R.J. 100-Year Review: Stress physiology including heat stress / R.J. Collier, B.J. Renquist, Y.A. Xiao // *Journal of dairy science*. – 2017. – Vol. 100(12). – P. 10367–10380. – DOI: 10.3168/jds.2017-13676
120. Coskun T. Fibroblast growth factor 21 corrects obesity in mice / T. Coskun [et al.] // *Endocrinology*. – 2008. – Vol. 149. – P. 6018-6027. DOI: 10.1210/en.2008-0816

121. Curi R.A. Association between IGF-I, IGF-IR and GHRH gene polymorphisms and growth and carcass traits in beef cattle / R.A. Curi, H.N.de Oliveirab, A.C. Silveira, C.R. Lopes // *Livestock Production Science*. – 2005. – No. 94. – P. 159-167. – DOI.org/10.1016/j.livprodsci.2004.10.009
122. Curi R.A. Effects of GHR gene polymorphisms on growth and carcass traits in Zebu and crossbred beef cattle / R.A. Curi [et al.] // *Livestock Science*. – 2006. – Vol. 101. – P. 94-100. – DOI: 10.1016/j.livprodsci.2005.09.015
123. Das D. Naturally occurring *Anaplasma marginale* infection in cattle: Molecular prevalence and associated risk factors, haemato-biochemical alterations, oxidant/antioxidant status and serum trace mineral levels / D. Das [et al.] // *Microb Pathog*. – 2022. – Vol.167. – Art. 105575 – DOI: 10.1016/j.micpath.2022.105575
124. De La Riva A.G. Assessment on Oxidative Stress in Animals: From Experimental Models to Animal Production / A.G. De La Riva, A.L. Saldana Trujillo, & C.J. González-Hernández // *IntechOpen*. – 2023. – ISBN 978-1-80356-330-5. – DOI: 10.5772/intechopen.109043
125. De Vries M.J. Energy balance of dairy cattle in relation to milk production variables and fertility / M.J. de Vries, R.F. Veerkamp // *J. Dairy Sci*. – 2000. – Vol. 83. – P. 62–69. – DOI:10.3168/jds.S0022-0302(00)74856-9
126. Deakin S.P. HDL-associated paraoxonase-1 can redistribute to cell membranes and influence sensitivity to oxidative stress / S.P. Deakin, S. Bioletto, M.-L. Bochaton-Piallat, RW. James // *Free Radical Biology and Medicine*. – 2011. – Vol. 50. – Art. 102. – P. 102-109. – DOI: 10.1016/j.freeradbiomed.2010.09.002
127. Deveci H.A. Determination of serum paraoxonase activity, total sialic acid concentration, and oxidative status in cattle with clinical mastitis / H.A. Deveci [et al.] // *International Journal of Veterinary Science*. – 2017. – Vol. 6(3). – P. 136-140
128. Diskin M.G. Embryonic and early foetal losses in cattle and other ruminants / M.G. Diskin, D.G. Morris // *Reprod Domest Anim*. – 2008. – Vol. 43. – P. 260–267. – DOI: 10.1111/j.1439-0531.2008.01171.x7

129. Drackley J.K. ADSA Foundation Scholar Award. Biology of dairy cows during the transition period: the final frontier? / J.K. Drackley // *J Dairy Sci.* – 1999. – Vol. 82. (11). – DOI: 10.3168/jds.s0022-0302(99)75474-3
130. Drackley J.K. Physiological and pathological adaptations in dairy cows that may increase susceptibility to periparturient diseases and disorders / J.K. Drackley [et al.] // *Ital J Anim Sci.* – 2005. – Vol. 4. – P.323–344. – DOI: 10.4081/ijas.2005.323
131. Dupont J. The effect of nutrition and metabolic status on the development of follicles, oocytes and embryos in ruminants / J. Dupont, R.J. Scaramuzzi, M. Reverchon // *Animal.* – 2014. Vol. 8(7). – P.1031-1044. – DOI: 10.1017/S1751731114000937
132. Durak M.H. Paraoxonase activities and oxidative status during late pregnancy and postpartum period in dairy cattle with and without retained fetal membrane / M.H. Durak, B. Yokus, N. Ercan // *J Hellenic Vet Med Soc.* – 2018. – 68(1). – Art. 45. – DOI.org/10.12681/jhvms.15555
133. Eder K. Fibroblast growth factor 21 in dairy cows: current knowledge and potential relevance / K. Eder, D.K. Gessner, R. Ringseis // *Journal of Animal Science and Biotechnology.* – 2021. – Vol. 12. – Art. 97. – DOI.org/10.1186/s40104-021-00621-y
134. Edwards-Callaway L.N. Animal welfare in the U.S. slaughter industry-a focus on fed cattle / L.N. Edwards-Callaway, M.S Calvo-Lorenzo // *J Anim Sci.* – 2020. – Vol. 98(4). – DOI: 10.1093/jas/skaa040
135. Espey L.L. Current status of the hypothesis that mammalian ovulation is comparable to an inflammatory reaction / L.L. Espey // *Biology of Reproduction.* – 1994. – Vol. 50. – P. 233-238. – DOI: 10.1095/biolreprod50.2.233
136. Esposito G. Characterization of metabolic and inflammatory profiles of transition dairy cows fed an energy-restricted diet / G. Esposito [et al.] // *Journal of animal science.* – 2020. – Vol. 98(1). – Art. skz391. – DOI: 10.1093/jas/skz391
137. Esposito G. Interactions between negative energy balance, metabolite diseases, uterine health and immune response in transitiv dairy cows / G. Esposito, P.C. Irons, E.C Webb, A. Chapwanya // *Anim Reprod Sci.* – 2014. – Vol. 144 – P. 60-71. – DOI: 10.1016/j.anireprosci.2013.11.007

138. Farid A.S. Serum paraoxonase-1 as biomarker for improved diagnosis of fatty liver in dairy cows / A.S. Farid [et al.] // *BMC Veterinary Research*. – 2013. – Vol. 9. – Art. 73. – DOI: 10.1186/1746-6148-9-73
139. Fatima A. Alterations in hepatic miRNA expression during negative energy balance in postpartum dairy cattle / A. Fatima [et al.] // *BMC Genomics*. – 2014. – Vol. 15. – Art. 28 – DOI: 10.1186/1471-2164-15-28
140. Fenwick M.A. Interrelationships between negative energy balance (NEB) and IGF regulation in liver of lactating dairy cows / M.A. Fenwick [et al.] // *Domest Anim Endocrinol* – 2008. – Vol. 34(1). – P. 31–44. – DOI: 10.1016/j.domaniend.2006.10.002
141. Fiore E. Serum metabolomics assessment of etiological processes predisposing ketosis in water buffalo during early lactation / E. Fiore [et al.] // *J Dairy Sci*. – 2023. – Vol. 106(5). – P. 3465–3476. – DOI: 10.3168/jds.2022-22209
142. Flohé L. Selenium, the element of the moon, in life on earth / L. Flohé [et al.] // *Ursini FIUBMB Life*. – 2000. – Vol. 49(5). – P. 411–420. – DOI 10.1080/152165400410263
143. Fortune J.E. The periovulatory period in cattle: progesterone, prostaglandins, oxytocin and ADAMTS proteases / J.E. Fortune, E.L. Willis, P.J. Bridges, C.S. Yang // *Animal Reproduction*. – 2009. – Vol. 6(1). – P. 60–71
144. Fuhrman B. Paraoxonase 1 (PON1) deficiency in mice is associated with reduced expression of macrophage SR-BI and consequently the loss of HDL cytoprotection against apoptosis / B. Fuhrman, A. Gantman, M. Aviram // *Atherosclerosis*. – 2010. – Vol. 211(1). – P. 61-68. – DOI: 10.1016/j.atherosclerosis.2010.01.025
145. Fuhrman B. Regulation of hepatic Paraoxonase-1 expression. / B. Fuhrman // *Journal of Lipids*. – 2012. – Vol. 8. – Art. 684010. – DOI: 10.1155/2012/684010
146. Gao Y. Localization of FGF21 Protein and Lipid Metabolism-Related Genes in Camels / Y. Gao [et al.] // *Life*. – 2023. – Vol. 13(2). – P. 432. – DOI: 10.3390/life13020432
147. Garverick H.A. Concentrations of nonesterified fatty acids and glucose in blood of periparturient dairy cows are indicative of pregnancy success at first insemination /

- H.A. Garverick [et al.] // *J. Dairy Sci.* – 2013. – Vol. 96. – P. 181–188. – DOI: 10.3168/jds.2012-5619
148. Gessner D.K. Up-regulation of endoplasmic reticulum stress induced genes of the unfolded protein response in the liver of periparturient dairy cows / D.K. Gessner [et al.] // *BMC Vet. Res.* – 2014. – Vol. 10. – Art. 46. – DOI.org/10.1186/1746-6148-10-46
149. Gladyshev V.N. Selenium. Its Molecular Biology and Role in Human Health: Selenium in biology and human health: controversies and perspectives / V.N. Gladyshev, A.M. Diamond, D.L. Hatfield // Springer New York, NY. – 2021. – P. 313–331. – DOI: 10.1007/978-1-4615-1609-5
150. Gross J. Performance and metabolic profile of dairy cows during a lactational and deliberately induced negative energy balance by feed restriction with subsequent realimentation / J. Gross, H.A. van Dorland, R.M. Bruckmaier, F.J. Schwarz // *J. Dairy Sci.* – 2011. – Vol. 94. – P. 1820–1830. – DOI.10.3168/jds.2010-3707
151. Gugliucci A. Enzymatic assessment of paraoxonase 1 activity on HDL subclasses: a practical zymogram method to assess HDL function / A. Gugliucci [et al.] // *Clinica Chimica Acta.* – 2013. – Vol. 415. – P. 162–168. – DOI: 10.1016/j.cca.2012.10.044
152. Hamanishi T.H. Functional variants in the glutathione peroxidase-1 (GPX-1) gene are associated with increased intima-media thickness of carotid arteries and risk of macrovascular diseases in Japanese type 2 diabetic patients / T.H. Hamanishi [et al.] // *Diabetes.* – 2004. – Vol. 53. – P. 2455–2460. – DOI: 10.2337/diabetes.53.9.2455
153. Hansen P.J. Mastitis and fertility in cattle – possible involvement of inflammation or immune activation in embryonic mortality / P.J. Hansen, P.D. Soto, R.P. Natzke // *American Journal of Reproductive Immunology.* – 2004. – Vol. 51(4). – P. 294–304. – DOI: 10.1111/j.1600-0897.2004.00160.x
154. Hayajneh F.M. Antioxidants in Dairy Cattle Health and Disease / F.M. Hayajneh // *Bulletin UASVM Veterinary Medicin.* – 2014. – Vol. 71 (1). – P. 104–109. – DOI: 10.15835/buasvmcn-vm:71:1:10044
155. He L. Using nano-selenium to combat Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)? / L. He [et al.] // *Nano Today.* – 2021. – Vol. 36. – Art. 101037. – DOI: 10.1016/j.nantod.2020.101037

156. Herdt T.H. Metabolic diseases of dairy cattle / T.H. Herdt // *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* – 2013. – Vol. 29(2). – P. 11–12. – DOI.org/10.1016/j.cvfa.2013.05.001
157. Herdt T.H. Ruminant adaptation to negative energy balance: Influences on the etiology of ketosis and fatty liver / T.H. Herdt // *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice.* – 2000. – Vol. 16(2). – P. 215–230. – DOI:10.1016/S0749-0720(15)30102-X
158. Holodova L.V. Improving breeding and productive qualities of Ayrshire cattle in the conditions of the Republic of Mari El of the Russian Federation / L.V. Holodova, A.L. Rozhentsov and E.V. Mikhalev // *Int. J. of Adv. Res.* – 2020. – Vol. 8. – P. 522–526. – DOI: 10.21474/IJAR01/10487
159. Horst E.A. Invited review: The influence of immune activation on transition cow health and performance – A critical evaluation of traditional dogmas / E.A. Horst, S.K. Kvidera, L.H. Baumgard // *J. Dairy Sci.* – 2021. – Vol. 104(8). – P. 8380–8410. – DOI: 10.3168/jds.2021-20330
160. Illek J. Metabolic disorders in the periparturient period in cattle / J. Illek // *Proceedings Book XVI International scientific and practical conference of professors, researchers, postgraduate students and students “Actual questions in veterinary medicine”.* – Kyiv, Ukraine, 2017. – P. 27–31.
161. Inagaki T. Endocrine regulation of the fasting response by PPAR α -mediated induction of fibroblast growth factor 21 / T. Inagaki [et al.] // *Cell Metabolism.* – 2007. – Vol. 5. – P. 415–425. – DOI: 10.1016/j.cmet.2007.05.003
162. Izumiya Y. FGF21 is an Akt-regulated myokine / Y. Izumiya [et al.] // *FEBS Letters.* – 2008. – Vol. 582. – P. 3805–3810. – DOI: 10.1016/j.febslet.2008.10.021
163. Japtar R. Molecular investigator of glutathione peroxidase-1(GPX-1) gene in Malvi cattle (*Bos indicus*) for draught capacity – a comparative study / R. Jagtar, S. Singh // *Indian journal of Animal Sciences.* – 2012. – 82 (2). – P.180-182.
164. Ji A.G. Association between PON1 Gene SNPs and Growth and Carcass Traits in Beef Cattle / A.G. Ji [et al.] // *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* – 2008. – Vol. 21(8). – P. 1097–1102. – DOI:10.5713/ajas.2008.70717

165. Józwiak A. Relations between the oxidative status, mastitis, milk quality and disorders of reproductive functions in dairy cows - a review / A. Józwiak [et al.] // *Animal Science Papers and Reports*. – 2012. – Vol. 30(4). – P. 297–307.
166. Józwiak A. Relationship between somatic cell count, level of GSH, milk yield and its chemical composition / A. Józwiak [et al.] // *Medycyna weterynaryjna*. – 2004. – Vol. 60(11). – P. 1215–1217.
167. Juretic D. Paraoxonase/arylesterase in serum of patients with type II diabetes mellitus / D. Juretic [et al.] // *Acta Pharm.* – 2006. – Vol. 56(1). – P. 59–68.
168. Kang D. Animal health and nutrition: metabolic disorders in cattle and improvement strategies. / Kang D. [et al.] // *Front Vet Sci*. – 2025. – Vol. 12. – Art. 1470391. – DOI: 10.3389/fvets.2025.1470391
169. Kankofer M. Activities of N-acetyl- β -D-glucosaminidase and glutathione peroxidase in bovine colostrum and milk / M. Kankofer, M. Albera, M. RozanskaBoczula // *Czech. J. Anim. Sci.* – 2010. – V. 55 (11). – P. 488–495. – DOI 10.17221/1716- CJAS
170. Kehrlí M.E. Alterations in bovine neutrophil function during the periparturient period / M.E. Kehrlí, B.J. Nonnecke, J.A. Roth // *Am. J. Vet. Res.* – 1989. – Vol. 50. – P. 207–214.
171. Kim K.H. FGF21 as a stress hormone: the roles of FGF21 in stress adaptation and the treatment of metabolic diseases / K.H. Kim, M.S. Lee // *Diabetes & Metabolism Journal*. – 2014. – Vol. 38. – P. 245–251. – DOI: org/10.4093/dmj.2014.38.4.245
172. Krause A.R.T. Associations between resumption of postpartum ovarian activity, uterine health and concentrations of metabolites and acute phase proteins during the transition period in Holstein cows / A.R.T. Krause [et al.] // *Animal Reproduction Science*. – 2014. – Vol. 145. – P. 8–14. – DOI: 10.1016/j.anireprosci.2013.12.016
173. Kükürt A. Protective effect of astaxanthin on experimental ovarian damage in rats / A. Kükürt, M. Karapehlivan // *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. – 2022. – Vol. 36(3). – Art. e22966. – DOI: 10.1002/jbt.22966
174. Kurbangaleev Ya.M. Agricultural Products Decontamination from Natural Flora by Gamma-Irradiation / Ya.M. Kurbangaleev [et al.] // *Linguistica Antverpiensia*. – 2021. – Vol. 2. – P. 981-992.

- 175.Kuru M. Relationship between pregnancy rate and serum sialic acid levels and paraoxonase activity after synchronization with progesterone releasing intravaginal device protocol in heifers / M. Kuru, A. Kükürt, H. Oral, M. Karapehlivan // *Journal of Cellular Neuroscience and Oxidative Stress*. – 2016. – Vol. 8. – P. 556–557.
- 176.Lendez P.A. Alterations in TNF- α and its receptors expression in cows undergoing heat stress. / P.A Lendez [et al.] // *Vet Immunol Immunopathol*. – 2021. – Vol. 235. – Art. 110232. – DOI: 10.1016/j.vetimm.2021.110232
- 177.Leroy J.L. Non-esterified fatty acids in follicular fluid of dairy cows and their effect on developmental capacity of bovine oocytes in vitro / J.L Leroy [et al.] // *Reproduction*. – 2005. – Vol. 130(4). – P.485–495. – DOI: 10.1530/rep.1.00735
- 178.Levander O.A. Deliberations and evaluations of the approaches, endpoints and paradigms for selenium and iodine dietary recommendations / O.A. Levander, P.D. Wranger // *Journal of Nutrition*. – 1996. – Vol. 126. – P. 2427–2434. – DOI: 10.1093/jn/126.suppl_9.2427S
- 179.Li C. Betaine protects against heat exposure-induced oxidative stress and apoptosis in bovine mammary epithelial cells via regulation of ROS production / C. Li [et al.] // *Cell Stress Chaperones*. – 2019. – Vol. 24(2). – P.453–460. – DOI: 10.1007/s12192-019-00982-4
- 180.Lisuzzo A. Differences of the Plasma Total Lipid Fraction from Pre-Foaling to Post-Foaling Period in Donkeys / A. Lisuzzo [et al.] // *Animals (Basel)*. –2022a. – Vol. 12(3). – Art. 304. – DOI: 10.3390/ani12030304
- 181.Lisuzzo A. Evaluation of the metabolomic profile through ¹H-NMR spectroscopy in ewes affected by postpartum hyperketonemia / A. Lisuzzo // *Sci Rep*. – 2022b. – Vol. 12(1). – Art. 16463.– DOI: 10.1038/s41598-022-20371-9
- 182.Lucy M.C. Fertility in high-producing dairy cows: reasons for decline and corrective strategies for sustainable improvement / M.C. Lucy // *Reprod Domest Ruminants*. – 2007. – Vol. 6(1). – P.237–254. – DOI: 10.5661/rdr-vi-237
- 183.Lundasen T. PPAR alpha is a key regulator of hepatic FGF21 / T. Lundasen [et al.] // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. – 2007. – Vol. 360(2). – P. 437–440. – DOI: 10.1016/j.bbrc.2007.06.068

184. Lutosławska G. Plasma TBARS, blood GSH concentrations, and erythrocyte antioxidant enzyme activities in regularly menstruating women with ovulatory and anovulatory menstrual cycles / G. Lutosławska [et al.] // *Clin Chim Acta*. – 2003. – Vol. 331. – P. 159–163. – DOI: 10.1016/s0009-8981(03)00085-8
185. Lv D. Multiomic Analyses Reveal the Effects of Supplementing Phytosterols on the Metabolic Function of the Rumen Microbiota in Perinatal Cows / D. Lv [et al.] // *Appl Environ Microbiol*. – 2022. – Vol. 88(15). – Art. e0099222. – DOI: 10.1128/aem.00992-22
186. Mackness M.I. Paraoxonase: biochemistry, genetics and relationship to plasma lipoproteins / M.I. Mackness [et al.] // *Current Opinion in Lipidology*. – 1996. – Vol. 7(2). – P. 69–76. – DOI: 10.1097/00041433-199604000-00004
187. Martínez-Garza Ú. Fibroblast growth factor 21 and the adaptive response to nutritional challenges / Ú. Martínez-Garza [et al.] // *International Journal of Molecular Sciences*. – 2019. – Vol. 20(19). – Art. 4692. – DOI: 10.3390/ijms20194692
188. McCabe M. RNA-seq analysis of differential gene expression in liver from lactating dairy cows divergent in negative energy balance / M. McCabe [et al.] // *BMC Genomics*. – 2012. – Vol. 13(1). – Art. 193. – DOI: 10.1186/1471-2164-13-193
189. McCarthy M.M. Short communication: Concentrations of nonesterified fatty acids and β -hydroxybutyrate in dairy cows are not well correlated during the transition period / M.M. McCarthy [et al.] // *Journal of Dairy Science*. – 2015. – Vol. 98. – P. 6284–6290. – DOI: 10.3168/jds.2015-9446
190. McCarthy S.D. Negative energy balance and hepatic gene expression patterns in high-yielding dairy cows during the early postpartum period: a global approach / S.D. McCarthy [et al.] // *Physiol Genomics*. – 2010. – Vol. 42(3). – P.188–199. – DOI: 10.1152/physiolgenomics.00118.2010
191. Mezzetti M. The transition period updated: a review of the new insights into the adaptation of dairy cows to the new lactation / Mezzetti M. [et al.] // *Dairy*. – 2021. – Vol. 2(4). – P. 617–636. – DOI: 10.3390/dairy2040048

192. Miller J.K. Oxidative stress, antioxidants, and animal function / J.K. Miller, E. Brzezinska-Slebozinska, F.C. Madsen // *J Dairy Sci.* – 1993. – Vol. 6(9). – P. 2812–2823. – DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(93)77620-1
193. Mir B.A. Assessment of antioxidant profile in subclinical and clinical mastitis in dairy cattle / B.A. Mir [et al.] // *Journal of Entomology and Zoology Studies.* – 2017. – Vol. 5(6). – P. 1022-1025.
194. Miranda-Vilela A.L. Gene polymorphisms against DNA damage induced by hydrogen peroxide in leukocytes of healthy humans through comet assay: a quasi-experimental study / A. L. Miranda-Vilela [et al.] // *Environ Health.* – 2010. – No. 5. – P. 21. – DOI: 10.1186/1476-069X-9-21
195. Missio D. Vitamin E reduces the reactive oxygen species production in dominant follicle during the negative energy balance in cattle / D. Missio [et al.] // *Reprod Domest Anim.* – 2023. – Vol. 58(12). – P. 1662–1671. – DOI: 10.1111/rda.14481
196. Moolchandani A. Review: Oxidative Stress during Lactation in Dairy Cattle / A. Moolchandani, M.A. Sareen // *Dairy & Veterinary Sciences.* – 2018. – No 5(4). – Art. 555669. – DOI: 10.19080/JDVS.2018.05.555669
197. Moore C.E Effect of supplemental conjugated linoleic acids on heat-stressed brown Swiss and Holstein cows / C.E. Moore [et al.] // *J. Dairy Sci.* – 2005. – Vol. 88. – P. 1732–1740.
198. Morris D.G. Pleiotropic effects of negative energy balance in the postpartum dairy cow on splenic gene expression: repercussions for innate and adaptive immunity / D.G. Morris [et al.] // *Physiol Genomics.* – 2010. – Vol. 39(1). – P. 28–37.
199. Mozduri Z. Integrated regulatory network reveals novel candidate regulators in the development of negative energy balance in cattle / Z. Mozduri, M.R. Bakhtiarizadeh, A. Salehi // *Animal.* – 2018. – Vol. 12(6). – P. 1196–1207. – DOI: 10.1017/S1751731117003524
200. Mullenbach G.T. Selenocysteine's mechanism of incorporation and evolution revealed in cDNAs of three glutathione peroxidases / G.T. Mullenbach [et al.] // *Protein Eng.* – 1998. Vol. 2(3). – P. 239–246. – DOI:10.1093/protein/2.3.239

201. Nishimura T. Identification of a novel FGF, FGF-21, preferentially expressed in the liver / T. Nishimura, Y. Nakatake, M. Konishi, N. Itoh // *Biochimica et Biophysica Acta*. – 2000. – Vol. 1492. – P. 203–206.
202. Osorio J.S. Effect of the level of maternal energy intake prepartum on immunometabolic markers, polymer phonuclear leukocyte function, and neutrophil gene network expression in neonatal Holstein heifer calves / J.S. Osorio, E. Trevisi, M.A. Ballou // *Journal of Dairy Science*. – 2013. – Vol. 96. – P. 3573–3587.
203. Owen B.M. FGF21 contributes to neuroendocrine control of female reproduction / B.M. Owen [et al.] // *Nature Medicine*. – 2013. – Vol. 19. – P. 1153–1156. – DOI: 10.1038/nm.3250
204. Patton J. Effect of milking frequency and diet on milk production, energy balance, and reproduction in dairy cows / J. Patton [et al.] // *J Dairy Sci*. – 2006. – Vol. 89(5). – P. 1478–1487.
205. Petit H.V. Antioxidants and dairy production: the example of flax / H.V. Petit // *R. Bras. Zootec*. – 2009. – No. 38. – P. 352–36. – DOI: 10.1590/S1516-35982009001300035
206. Pilarczyk B. Selenium Concentration and Glutathione Peroxidase (GSH-Px) Activity in Serum of Cows at Different Stages of Lactation / B. Pilarczyk [et al.] // *Biol Trace Elem Res*. – 2012. – No 147. – P. 91–96. – DOI:10.1007/s12011-011-9271-y
207. Prezotto L.D. Fibroblast Growth Factor 21 Has a Diverse Role in Energetic and Reproductive Physiological Functions of Female Beef Cattle / L.D. Prezotto [et al.] // *Animals*. – 2023. – No 13. – P. 3185.
208. Puvaca N. Antimicrobial, antioxidant and acaricidal properties of tea tree (*Melaleuca alternifolia*) / Puvaca N. [et al.] // *J. Agron. Technol. Eng. Manag*. – 2018. – No. 1. – P. 29–38.
209. Rayman M.P. The importance of selenium to human health / M.P. Rayman // *Lancet*. – 2000. – V. 356 (9225). – P. 233–241. – DOI 10.1016/S0140-6736(00)02490-9
210. Rebezov M.B. Productive qualities and their interrelation in Holstein cows OF Black-and-White breed / M.B. Rebezov // *ABY*. – 2022. – №6 (221). – P. 60–67. – DOI 10.32417/1997-4868-2022-221-06-60-67

- 211.Rincón J.A.A. Exogenous paraoxonase-1 during oocyte maturation improves bovine embryo development in vitro / J.A.A. Rincón // *Reproduction in Domestic Animals*. – 2016. – No. 51(5). – P. 1–4. – DOI: 10.1111/rda.12730
- 212.Rowntree J.E. Effect of Se on selenoprotein activity and thyroid hormone metabolism in beef and dairy cows and calves / J. E. Rowntree [et al.] // *Journal of Dairy Animal Science*. – 2004. – No. 82(10). – P. 2995–3005. – DOI: 10.2527/2004.82102995x
- 213.Rozenberg O. Paraoxonase (PON1) deficiency is associated with increased macrophage oxidative stress: studies in PON1-knockout mice / O. Rozenberg [et al.] // *Free Radical Biology and Medicine*. – 2003. – No. 34(6). – P. 774–784.
- 214.Safina N. 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 (EFSC2021)*. – 2021. – Vol. 282. – P. 02007. – DOI: 10.1051/e3sconf/202128202007
- 215.Safina N. Dairy productivity of Holstein cattle with different genotypes of the β -lactoglobulin gene (BLG) / N. Safina [et al.] // *BIO Web of Conferences*. – 2024. – Vol. 149. – P. 01007. – DOI: 10.1051/bioconf/202414901007
- 216.Safina N. Polymorphism of the glutathioneperoxidase-1 gene (GPX-1 g. 189 T/C) and biochemical parameters of the blood serum of Holstein cattle / N. Safina [et al.] // *E3s web of conferences (AFE-2023)*. – 2023. – Vol. 462. – P. 01018. – DOI: 10.1051/e3sconf/202346201018
- 217.Salman S.The role of dietary selenium in bovine mammary gland health and immune function / S. Salman [et al.] // *Animal Health Research Review*. – 2009. – No.10. – P. 21–34. – DOI: 10.1017/S1466252308001588
- 218.Schlegel G. Expression of fibroblast growth factor 21 in the liver of dairy cows in the transition period and during lactation / G. Schlegel [et al.] // *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berl)*. – 2013. – Vol. 97(5). – P. 820–829. – DOI: 10.1111/j.1439-0396.2012.01323.x

- 219.Schneider A. Short communication: Acute phase proteins in Holstein cows diagnosed with uterine infection / A. Schneider, M.N. Corrêa, W.R. Butler // *Research in Veterinary Science.* – 2013. – Vol. 95. – P. 269-271. – DOI: 10.1016/J.RVSC.2013.02.010
- 220.Schoenberg K.M. Plasma FGF21 is elevated by the intense lipid mobilization of lactation / K.M. Schoenberg [et al.] // *Endocrinology.* – 2011. – Vol. 152. – P. 4652–4661. – DOI: 10.1210/en.2011-1425
- 221.Shahzad M. Unravelling the Signature Follicular Fluid Metabolites in Dairy Cattle Follicles Growing Under Negative Energy Balance: An In Vitro Approach / M. Shahzad [et al.] // *Int J Mol Sci.* – 2024. – Vol. 25(23). – Art. 12629. – DOI: 10.3390/ijms252312629
- 222.Sharma A. Elevated free fatty acids affect bovine granulosa cell function: a molecular cue for compromised reproduction during negative energy balance / A. Sharma [et al.] // *Endocr Connect.* – 2019. – Vol. 8(5). – P. 493–505. – DOI: 10.1530/EC-19-0011
- 223.Shen Y. Exploration of serum sensitive biomarkers of fatty liver in dairy cows / Y. Shen [et al.] // *Scientific Reports.* – 2018. – Vol. 8. – Art. 13574. – DOI: 10.1038/s41598-018-31845-0
- 224.Shokirov K.J. Improving breeding and productivity qualifications of Holstein cow breeds (b. Taurus) in climate of Uzbekistan / K.J. Shokirov [et al.] // *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science.* – 2021. – Vol. 939. – P. 012048. – DOI: 10.1088/1755-1315/939/1/012048
- 225.Sies H. *Oxidative Stress* / H. Sies [et al.] // London : Academic Press Inc., 1985. – 507 p.
- 226.Silveira P.A.S. Characterization of single nucleotide polymorphisms in the promoter region of the bovine paraoxonase 1 (PON1) gene affecting serum enzyme activity in dairy cows / P.A.S. Silveira [et al.] // *The Veterinary Journal.* – 2015. – Vol. 205(1). – P. 101–103. – DOI: 10.1016/j.tvjl.2015.04.028
- 227.Silveira P.A.S. Polymorphisms in the anti-oxidant paraoxonase-1 (PON1) gene associated with fertility of postpartum dairy cows / P.A.S. Silveira [et al.] //

- Theriogenology. – 2019. – Vol. 125. – P. 302–309. – DOI: 10.1016/j.theriogenology.2018.11.024
- 228.Singh S. Molecular and Biochemical Evaluation of Indian Draft Breeds of Cattle (*Bos indicus*) / S. Singh, S. Sharma, J.S. Arora, B.C. Sarkhel // *Biochem Genet.* – 2011. – No 49. – P. 242–250. – DOI: 10.1007/s10528-010-9402-8
- 229.Soltani H. Serum biochemical and oxidative status in Holstein cattle affected with foot and mouth disease / H. Soltani, M.R. Aslani, A. Mohebbi, A. Mokhtari // *IJVST.* – 2020. – Vol. 12(2). – P. 19–24. – DOI: 10.22067/veterinary.v12i2.85100
- 230.Song Y. Serum Metabolic Characterization of Vitamin E Deficiency in Holstein Cows during the Transition Period Based on Proton Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy / Y. Song [et al.] // *Animals.* – 2023. – (2023). – Vol. 13(18). – Art. 2957. – DOI: 10.3390/ani13182957
- 231.Sordillo L.M. Impact of oxidative stress on the health and immune function of dairy cattle / L.M. Sordillo, S.L. Aitken // *Vet. Immunol. Immunopathol.* – 2009a. – No.128. – P.104–109. – DOI:10.1016/j.vetimm.2008.10.305
- 232.Sordillo L.M. Metabolic factors affecting the inflammatory response of periparturient dairy cows / L.M. Sordillo, G.A. Contreras, S.L. Aitken // *Animal Health Research Reviews.* – 2009b. – No.10. – P.53–63. – DOI: 10.1017/S1466252309990016
- 233.Sordillo L.M. Significance of metabolic stress, lipid mobilization, and inflammation on transition cow disorders / L.M. Sordillo, W. Raphael // *Vet Clin North Am Food Anim Pract.* – 2013. – Vol. 29(2). – P. 267–278. – DOI: 10.1016/j.cvfa.2013.03.002
- 234.Soren S. Seasonal variation of mitochondria activity related and heat shock protein genes in spermatozoa of Karan Fries bulls in tropical climate / S. Soren, S.V. Singh, P. Singh // *Biological Rhythm Research.* – 2018. – Vol. 49(3). – P. 366–381. –DOI: 10.1080/09291016.2017.1361584
- 235.Spears J.W. Role of antioxidants and trace elements in health and immunity of transition dairy cows / J.W. Spears, W.P. Weiss // *Vet. J.* – 2008. – No. 176(1). – P.70–76. – DOI: 10.1016/j.tvjl.2007.12.015

- 236.Sun X.-M. Two novel intronic polymorphisms of bovine FGF21 gene are associated with body weight at 18 months in Chinese cattle / X.-M. Sun [et al.] // *Livestock Science*. – 2013. – Vol. 155(1). – P. 23–29. – DOI: 10.1016/j.livsci.2013.03.023
- 237.Sundrum A. Metabolic disorders in the transition period indicate that the dairy cows' ability to adapt is overstressed / A. Sundrum // *Animals*. – 2015. – No 5. – P. 978–1020. – DOI:10.3390/ani5040395
- 238.Surai P.F. Revisiting Oxidative Stress and the Use of Organic Selenium in Dairy Cow Nutrition / P.F. Surai, I.I. Kochish, V.I. Fisinin, D.T. Juniper // *Animals*. – 2019. – No. 9. – P. 462. – DOI:10.3390/ani9070462
- 239.Sutton-Mcdowall M.L. Nonesterified fatty acid-induced endoplasmic reticulum stress in cattle cumulus oocyte complexes alters cell metabolism and developmental competence / M.L. Sutton-Mcdowall [et al.] // *Biology of Reproduction*. – 2016. – Vol. 94. – P. 1–9.
- 240.Szewczuk M. Association of insulin-like growth factor I gene polymorphisms (IGF1/TasI and IGF1/SnaBI) with the growth and subsequent milk yield of Polish Holstein-Friesian heifers / M. Szewczuk, M. Bajurna, S. Zych, W. Kruszyński // *Czech J. Anim. Sci.* – 2013. – Vol.58 (9). – P. 404–411.
- 241.Taha N.M. Bovine Paraoxonase-1 Activity in Oxidative Stress / N.M. Taha [et al.] // *Alexandria Journal of Veterinary Sciences*. – 2016. – Vol. 51(2). – P. 233–238. – DOI: 10.5455/ajvs.229270
- 242.Trevisi E. Assessment of the innate response in the periparturient cow / E. Trevisi, A. Minuti // *Research in Veterinary Science*. – 2018. – No. 116. – P. 47–54. – DOI: 10.1016/j.rvsc.2017.12.001
- 243.Trevisi E. Metabolic stress and inflammatory response in high yielding, periparturient dairy cows. / E. Trevisi [et al.] // *Research in Veterinary Science*. – 2012. – No. 93(2). – P. 695–704. – DOI: 10.1016/j.rvsc.2011.11.008
- 244.Turk R. The Role of Oxidative Stress and Inflammatory Response in the Pathogenesis of Mastitis in Dairy Cows / R. Turk [et al.] // *Mljekarstvo*. – 2017. – No. 67. – P.91–101. – DOI: 10.15567/mljekarstvo.2017.0201

245. Vafin R.R. Development of pcr methods for cattle genotyping by allelic variants of *dgat1* gene // R.R. Vafin [et al.] // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. – 2016. – T. 7. – № 2. – P. 2075–2080.
246. Van Hoeck V. Elevated non-esterified fatty acid concentrations during bovine oocyte maturation compromise early embryo physiology / V. Van Hoeck [et al.] // PLoS One. – 2011. – Vol. 6(8). – Art. e23183. – DOI: 10.1371/journal.pone.0023183
247. Van Hoeck V. Oocyte developmental failure in response to elevated nonesterified fatty acid concentrations: mechanistic insights / V. Van Hoeck [et al.] // Reproduction. – 2013. – Vol. 145(1). – P. 33–44. – DOI: 10.1530/REP-12-0174
248. Van Knegsel A.T.M. Dietary energy source in dairy cows in early lactation: energy partitioning and milk composition / A.T.M. Van Knegsel [et al.] // J Dairy Sci. – 2007a. – Vol. 90(3). – P. 1467–1476.
249. Van Knegsel A.T.M. Effect of glucogenic vs. lipogenic diets on energy balance, blood metabolites, and reproduction in primiparous and multiparous dairy cows in early lactation / A.T.M. Van Knegsel [et al.] // J. Dairy Sci. – 2007b. – Vol. 90. – P. 3397–3409. – DOI: 10.3168/jds.2006-837
250. Van Laere A.S. A regulatory mutation in *IGF2* causes a major QTL effect on muscle growth in the pig / A.S. Van Laere [et al.] // Nature. – 2003. – Vol. 425. – P. 832–836.
251. Vanholder T. Effect of non-esterified fatty acids on bovine granulosa cell steroidogenesis and proliferation in vitro / T. Vanholder [et al.] // Anim Reprod Sci. – 2005. – Vol. 87(1-2). – P. 33-44. – DOI: 10.1016/j.anireprosci.2004.09.006
252. Wang H. Identification of a domain within peroxisome proliferator-activated receptor gamma regulating expression of a group of genes containing fibroblast growth factor 21 that are selectively repressed by SIRT1 in adipocytes / H. Wang, L. Qiang, S.R. Farmer // Molecular and Cellular Biology. – 2008. – Vol. 28. – P. 188–200. – DOI: 10.1128/MCB.00992-07
253. Wang J. Serum hepatokines in dairy cows: periparturient variation and changes in energy-related metabolic disorders / J. Wang [et al.] // BMC Veterinary Research. – 2018. – Vol. 14(1). – Art. 236. – DOI: 10.1186/s12917-018-1560-7

254. Wathes D.C. Negative energy balance alters global gene expression and immune responses in the uterus of postpartum dairy cows / D.C. Wathes [et al.] // *Physiol Genomics*. – 2009. – Vol. 39(1). – P. 1–13.
255. Wedel A. The CEBP family of transcription factors / A. Wedel, H.W. Ziegler-Heitbrock // *Immunobiology*. – 1995. – No. 193(2-4). – P. 171–185.
256. Wullepit N. Influence of management and genetic merit for milk yield on the oxidative status of plasma in heifers / N. Wullepit [et al.] // *Livestock Science*. – 2009. – Vol. 123(2-3). – P. 276–282. – DOI: 10.1016/j.livsci.2008.11.013
257. Xiao J. The Antioxidant Properties of Selenium and Vitamin E; Their Role in Periparturient Dairy Cattle Health Regulation / J. Xiao [et al.] // *Antioxidants*. – 2021. – No. 10(10). – P. 1555. – DOI: 10.3390/antiox10101555
258. Xu J. Fibroblast growth factor 21 reverses hepatic steatosis, increases energy expenditure, and improves insulin sensitivity in diet-induced obese mice / J. Xu, D.J. Lloyd, C. Hale // *Diabetes*. – 2009. – Vol. 58(1). – P. 250–259.
259. Xu W. Metabolomics of Milk Reflects a Negative Energy Balance in Cows / W. Xu [et al.] // *J Proteome Res*. – 2020. – Vol. 19(8). – P. 2942–2949. – DOI: 10.1021/acs.jproteome.9b00706
260. Yenuganti V.R. Oleic acid induces specific alterations in the morphology, gene expression and steroid hormone production of cultured bovine granulosa cells / V.R. Yenuganti, T. Viergutz, J. Vanselow // *Gen Comp Endocrinol*. – 2016. – Vol. 232. – P. 134–44. – DOI: 10.1016/j.ygcen.2016.04.020
261. Zhang J. Identification of Polymorphisms in the Bovine Paraoxonase 1 Gene / J. Zhang [et al.] // *Journal of Animal and Veterinary Advances*. – 2013. – Vol. 12(2). – P. 229–233. – DOI: 10.36478/javaa.2013.229.233
262. Zinnatov F. Breeding and productive qualities of Ayrshire cattle / F. Zinnatov [et al.] // *BIO Web Conf*. – 2004. – Vol. 113. – P. 02008. – DOI: 10.1051/bioconf/202411302008

ПРИЛОЖЕНИЯ

ОПИСЬ ПРИЛОЖЕНИЙ:

Приложение 1: Акт результатов научно-хозяйственного опыта в СХПК «ПЗ им. Ленина» Атнинского района РТ.

Приложение 2: Акт результатов научно-хозяйственного опыта в КФХ «Мухаметшин З.З.» Сабинского района РТ.

Приложение 3: Акт о внедрении результатов научно-хозяйственного опыта отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН в ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ.

Приложение 4: Акт о внедрении результатов научно-хозяйственного опыта отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН в ООО «Алан» Тюлячинского района РТ.

Приложение 5: Патент на изобретение RU 2774372 от 20.06.2022. «Способ повышения продуктивности дойных коров различных генотипов гена *GPX-1*»; Патент на изобретение RU 2775569 от 04.07.2022. «Способ повышения продуктивности дойных коров различных генотипов гена *PON1*»; Патент на изобретение RU 2812476 от 30.01.2024. «Способ повышения продуктивности дойных коров различных генотипов гена *FGF21*».

Приложение 6: Титульный лист и лист со списком авторов справочника «Оценка экстерьера голштинской породы и голштинизированного крупного рогатого скота». Казань, 2022.

Приложение 7: Титульный лист и лист со списком авторов справочника «Современные технологии в кормопроизводстве и животноводстве, проблемы и пути их решения (500 вопросов и ответов). Казань, 2023.

Приложение 8: Благодарственное письмо и Почетная грамота Министерства сельского хозяйства и продовольствия РТ.

Приложение 9: Благодарственные письма Академии наук РТ, ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН и Мэра Казани.

Приложение 10: Сертификаты участника конференций (4 шт.) и Диплом за II место в Конкурсе молодых ученых, посвященном памяти Р.Г. Гареева.

УТВЕРЖДАЮ



Председатель СХПК племенной
завод им. Ленина Атнинского
района Республики Татарстан
И.В. Хайруллин
20 24 г.

АКТ

**результатов научно-хозяйственного опыта аспиранта ФИЦ КазНЦ РАН
Гайнутдиновой Эльзы Равиленовны**

Мы, нижеподписавшиеся: заведующий отделом физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН, кандидат биологических наук, Сафина Н.Ю., главный ветеринарный врач СХПК племенной завод им. Ленина Гилязов И.М., аспирант ФИЦ КазНЦ РАН, научный сотрудник отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН Гайнутдинова Э.Р., составили настоящий акт о том, что в условиях СХПК племенной завод им. Ленина Атнинского района Республики Татарстан проводился научно-хозяйственный опыт по изучению полиморфизма генов *GPX-1*, *FGF21*, *PON1* и генетической оценки племенных и продуктивных качеств крупного рогатого скота голштинской породы отечественной селекции.

В ходе исследований установили, что изучаемые гены оказывают влияние на биохимический профиль, формирование признаков физического развития, молочную продуктивность, качественный состав молока, репродуктивные качества крупного рогатого скота. В связи с этим рекомендуется проводить молекулярно-генетическое тестирование скота. Животные, выявленные как наиболее ценные, могут быть использованы в дальнейших селекционно-племенных работах при отборе и подборе родительских пар, для получения потомства с наилучшими показателями.

Заведующий отделом физиологии,
биохимии, генетики и питания животных
ТатНИИСХ – ОСП. ФИЦ КазНЦ РАН,
кандидат биологических наук

Н.Ю. Сафина

Главный ветеринарный врач
СХПК племенной завод им. Ленина

И.М. Гилязов

Аспирант ФИЦ КазНЦ РАН,
научный сотрудник отдела физиологии,
биохимии, генетики и питания животных
ТатНИИСХ – обособленного структурного
подразделения ФИЦ КазНЦ РАН

Э.Р. Гайнутдинова

УТВЕРЖДАЮ



АКТ

**результатов научно-хозяйственного опыта аспиранта ФИЦ КазНЦ РАН
Гайнутдиновой Эльзы Равиловны**

Мы, нижеподписавшиеся: заведующий отделом физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН кандидат биологических наук, Сафина Н.Ю., главный ветеринарный врач КФХ «Мухаметшин 3.3.» Бикчантаева Л.М., аспирант ФИЦ КазНЦ РАН, научный сотрудник отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН Гайнутдинова Э.Р., составили настоящий акт о том, что в условиях КФХ «Мухаметшин 3.3.» Сабинского района Республики Татарстан проводился научно-хозяйственный опыт по изучению полиморфизма генов *GPX-1*, *FGF21*, *PON1* и генетической оценки продуктивных качеств крупного рогатого скота голштинской породы зарубежной селекции.

В ходе исследований установили, что изучаемые гены оказывают влияние на биохимический профиль, формирование признаков физического развития, молочную продуктивность, качественный состав молока, репродуктивные качества крупного рогатого скота. В связи с этим рекомендуется проводить молекулярно-генетическое тестирование скота. Животные, выявленные как наиболее ценные, могут быть использованы в дальнейших селекционно-племенных работах при отборе и подборе родительских пар, для получения потомства с наилучшими показателями.

Заведующий отделом физиологии,
биохимии, генетики и питания животных
ТатНИИСХ – ОСП. ФИЦ КазНЦ РАН,
кандидат биологических наук

Н.Ю. Сафина

Главный ветеринарный врач
КФХ «Мухаметшин 3.3.»

Л.М. Бикчантаева

Аспирант ФИЦ КазНЦ РАН,
научный сотрудник отдела физиологии,
биохимии, генетики и питания животных
ТатНИИСХ – обособленного структурного
подразделения ФИЦ КазНЦ РАН

Э.Р. Гайнутдинова



Ректор ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ

Р.Х. Равилов

20 24 г.

АКТ

о внедрении результатов научно-хозяйственного опыта отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН

Мы, нижеподписавшиеся: ассистент кафедры кормления, кандидат биологических наук Фаттахова Зиляя Фидаилевна (на момент разработки 17.10.2022 г. являлась руководителем гранта, старшим научным сотрудником отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН), заведующий кафедрой биологии, генетики и разведения животных, доцент ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ, кандидат биологических наук И.Н. Камалдинов, составили настоящий акт о том, что методики «Оценки экстерьера голштинской породы и голштинизированного крупного рогатого скота», разработанные в рамках исследования за счет предоставления из бюджета Республики Татарстан гранта на государственную поддержку научных исследований и разработок в области агропромышленного комплекса бюджетным и автономным учреждениям «Разработка и издание методик порядка присвоения идентификационных номеров и оценки экстерьера племенных животных для повышения качества учетных показателей в молочном скотоводстве Республики Татарстан» (Договор № 2-22 от 17.10.2022 г.), внедрены в учебный процесс кафедры биологии, генетики и разведения животных ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ и используются при обучении бакалавров, магистрантов и аспирантов, а так же при проведении курсов повышения квалификации сотрудников сельскохозяйственных предприятий различного уровня организации.

Ассистент кафедры кормления
ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ,
кандидат биологических наук

З.Ф. Фаттахова

Заведующий кафедрой биологии, генетики
и разведения животных, доцент
ФГБОУ ВО Казанская ГАВМ,
кандидат биологических наук

И.Н. Камалдинов

УТВЕРЖДАЮ

Ген. Директор АО «Алан»

Тюлячинского района РТ

А.Х.Фасхетдинов« 6 » января 2024 г.

АКТ

о внедрении результатов научно-хозяйственного опыта отдела физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН

Мы, нижеподписавшиеся: заведующий отделом физиологии, биохимии, генетики и питания животных ТатНИИСХ – обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН, кандидат биологических наук, Сафина Н.Ю., главный ветеринарный врач С.М.Давлетшин, составили настоящий акт о том, что методики «Оценки экстерьера голштинской породы и голштинизированного крупного рогатого скота», разработанные в рамках исследования за счет предоставления из бюджета Республики Татарстан гранта на государственную поддержку научных исследований и разработок в области агропромышленного комплекса бюджетным и автономным учреждениям «Разработка и издание методик порядка присвоения идентификационных номеров и оценки экстерьера племенных животных для повышения качества учетных показателей в молочном скотоводстве Республики Татарстан» (Договор № 2-22 от 17.10.2022 г.), внедрены в рабочий процесс ООО «Алан» Тюлячинского района Республики Татарстан и используются при оценке экстерьера.

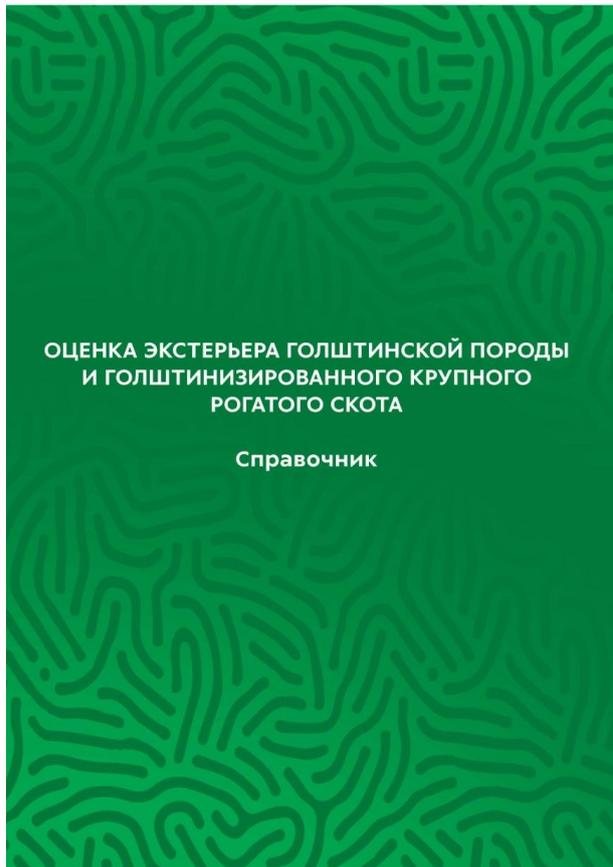
Заведующий отделом физиологии,
биохимии, генетики и питания животных
ТатНИИСХ – ОСП. ФИЦ КазНЦ РАН,
кандидат биологических наук

Главный ветеринарный врач
АО «Алан»



Н.Ю. Сафина

С.М. Давлетшин



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

ТАТАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА – ОБОСОБЛЕННОЕ СТРУКТУРНОЕ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР «КАЗАНСКИЙ НАУЧНЫЙ
ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»

ОЦЕНКА ЭКСТЕРЬЕРА
ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ
И ГОЛШТИНИЗИРОВАННОГО
КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Справочник

Казань
Логос-Пресс
2022

УДК 636.234.1.061(035)
ББК 46.0-36я22
093

*Справочник рассмотрен, одобрен и рекомендован к печати ученым советом
ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН и Научно-техническим отделом
Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан*

Авторский коллектив:

*З.Ф. Фаттахова, Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина,
Э.Р. Гайнутдинова, Р.М. Низамов, Е.О. Крутин, И.Т. Бикчантаев,
Н.Д. Чевтаева, М. Хогун, Г.Х. Халилова*

Под редакцией:

*З.Ф. Фаттаховой, к.б.н., старшего научного сотрудника
отдела физиологии, биохимии, генетики и питания
животных ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН*

О93 Оценка экстерьера голштинской породы и голштинизированного крупного рогатого скота: справочник / З.Ф. Фаттахова, Ш.К. Шакиров, Н.Ю. Сафина, Э.Р. Гайнутдинова и др. – Казань: Логос-Пресс, 2022. – 44 с.
ISBN 978-5-00205-036-9

Экстерьер и тип телосложения животных играют важную роль при производстве молока. Экстерьер отражает интенсивность и направление обмена веществ, продолжительность использования коров и воспроизводительную способность. Длительное использование высокопродуктивных коров и высокая сохранность телат значительно повышают возможности отбора животных в молочном стаде и экономические показатели отрасли.

Главной задачей оценки коров по экстерьеру является повышение точности отбора животных, особенно высокопродуктивных. Отбор особей из поколения в поколение по продуктивным качествам без учета экстерьерно-конституциональных особенностей приводит к снижению иммунитета, ухудшению адаптационных способностей организма.

В справочнике представлена методика оценки экстерьера голштинской породы и голштинизированного крупного рогатого скота по линейной и стобальной системам в соответствии с нормативными требованиями, а также с учетом рекомендаций Ассоциации производителей крупного рогатого скота голштинской породы и Международного комитета регистрации животных (ICAR).

Издание подготовлено на основании Договора о предоставлении из бюджета Республики Татарстан грантов на государственную поддержку научных исследований и разработок в области агропромышленного комплекса бюджетным и автономным учреждениям в 2022 г. (Договор № 2-22 от 17.10.2022 г.)

© ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН, 2022
© Коллектив авторов, 2022
© Логос-Пресс, оформление, 2022

ISBN 978-5-00205-036-9



ТАТАРСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА - ОБОСОБЛЕННОЕ
СТРУКТУРНОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ «ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ЦЕНТР «КАЗАНСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ НАУК»

**500
вопросов
и ответов**

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ
И ЖИВОТНОВОДСТВЕ, ПРОБЛЕМЫ
И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ**

СПРАВОЧНИК

Казань, 2023

Казань
Издательство АН РТ
2023

УДК 636.08
ББК

*Методическое руководство рассмотрено и рекомендовано
к печати Ученым советом ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН
и Научно-техническим советом Министерства сельского хозяйства и
продовольствия Республики Татарстан*

Авторский коллектив:

Ш.К. Шакиров, О.Л. Шайтанов, М.А. Сушенцова, М.Л. Калайда,
Е.О. Крунин, Н.Ю. Сафина, Ф.Ф. Зиннатова, З.Ф. Фаттахова,
Р.П. Ибагуллина, А.Н. Муньков, Р.И. Михайлова, Ф.К. Ахметзянова,
Д.Д. Хайруллин, Р.И. Хашимов, Е.Н. Муханнина, И.Т. Бикчантаева,
Н.Д. Чевтаева, Э.Р. Гайнутдинова

Рецензенты:

Доктор сельскохозяйственных наук, профессор **В.Н. Шылов**
Доктор ветеринарных наук, профессор **А.К. Галлуллин**

Под редакцией доктора сельскохозяйственных наук, профессора
Ш.К. Шакирова

**Современные технологии в кормопроизводстве и животноводстве,
проблемы и пути их решения (вопросы и ответы)** / Ш.К. Шаки-
ров, О.Л. Шайтанов, М.А. Сушенцова и др. – 4-е издание, дора-
ботанное и дополненное – Казань: Изд-во АН РТ, 2023. – 421 с.

В справочнике в популярной форме и без утраты научной точности и достоверности представлены и объяснены сложные, но необходимые для практиков-животноводов материалы, затрагивающие острые проблемы в современном животноводстве по планированию, организации производства качественных кормов и их оценки, физиолого-биохимических основ обмена веществ и синтеза молока при норме и откочевниках, сбалансированного кормления молодняка и дойного стада крупного и мелкого рогатого скота, генетики и селекции и приведены материалы новейших исследований и передового мирового опыта в этой области и стран СНГ.

Также рассмотрены вопросы, затрагивающие особенности технологии производства молока на фермах с привязным и беспривязным содержанием в условиях круглогодичного одноплодного кормления, в том числе с использованием IT-технологий, а также специальные меры по повышению ветеринарного благополучия животных.

Новое издание дополнено актуальными вопросами и ответами по овцеводству и козоводству, пчеловодству, уделено большое внимание технологиям по аквакультуре. В издании подробно описаны микробиологические процессы и факторы, способствующие достижению успешной ферментации при консервировании животноводческих трав и кукурузы с использованием биологических и химических консервантов.

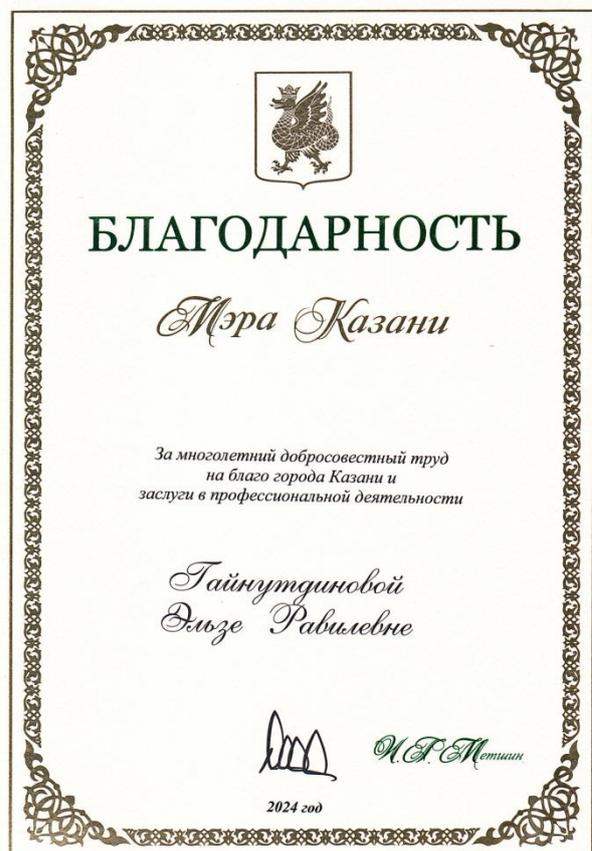
Справочник предназначен для зооветеринарных специалистов высшего и среднего звена и фермеров. Он будет полезен для руководителей и менеджеров сельскохозяйственного производства, преподавателей, аспирантов и студентов сельскохозяйственных вузов и техникумов.

Издание подготовлено в рамках Договора о предоставлении из бюджета Республики Татарстан грантов на государственную поддержку научных исследований и разработок в области агропродовольственного комплекса бюджетным и автономным учреждениям (Договор № Т-06 от 09.07.2023)

© ТатНИИСХ
ФИЦ КазНЦ РАН, 2023
© Коллектив авторов, 2023

ISBN 978-5-9690-1188-5











НИВА
ТАТАРСТАНА
ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН

105
лет
на службе АПК

СЕРТИФИКАТ

Настоящим подтверждает, что

Гайнутдинова Эльза Равиловна

принял(а) участие в

Международной научной конференции
«Приоритетные направления повышения
эффективности, конкурентоспособности и
устойчивости аграрной отрасли»,
посвященной 105-летию
ТатНИИСХ ФИЦ КазНЦ РАН

Секция: животноводство, кормопроизводство

Руководитель
ТатНИИСХ
ФИЦ КазНЦ РАН



А.З. Хазиев