

На правах рукописи

Сафонова Надежда Сергеевна

**ПОЛИМОРФИЗМ ГЕНОВ МИОСТАТИНА,
СОМАТОТРОПИНА, ЛЕПТИНА И ИХ СВЯЗЬ
С ПОКАЗАТЕЛЯМИ ПРОДУКТИВНОСТИ У ОВЕЦ**

06.02.07 – разведение, селекция и генетика сельскохозяйственных животных

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ставрополь – 2022

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр»

Научный руководитель: **Скорых Лариса Николаевна,**
доктор биологических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Лушников Владимир Петрович,**
доктор сельскохозяйственных наук, профессор,
заслуженный деятель науки РФ,
ФГБОУ ВО «Саратовский государственный
аграрный университет им. Н.И. Вавилова»,
профессор кафедры «Технология производства
и переработки продукции животноводства»

Дементьева Наталия Викторовна,
кандидат биологических наук,
Всероссийский научно-исследовательский
институт генетики и разведения
сельскохозяйственных животных филиал
Федерального государственного бюджетного
научного учреждения «Федеральный
исследовательский центр животноводства —
ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»,
ведущий научный сотрудник лаборатории
молекулярной генетики

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Донской государственный
аграрный университет»

Защита диссертации состоится «07» октября 2022 г. в 12:00 ч. на заседании
объединенного диссертационного совета Д 999.210.02 при ФГБНУ «Северо-
Кавказский ФНАЦ» и ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ по адресу: 355017,
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 12, тел. 8(8652) 28-61-10, факс: 28-61-10.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО
Ставропольский ГАУ и на официальном сайте: <http://www.stgau.ru>.

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г. и размещен на сайтах:
ВАК Министерства науки и высшего образования РФ
<http://www.vak.minobrnauki.gov.ru> «___» _____ 2022 г.; ФГБОУ ВО
Ставропольский ГАУ <http://www.stgau.ru> «___» _____ 2022 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат ветеринарных наук,
доцент

Пономарева Мария Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Овцеводство по разнообразию производимой продукции и обеспечению потребностей народного хозяйства страны в специфических видах сырья и продуктах питания не имеет аналогов. Основной тенденцией развития овцеводства в последние десятилетия во всем мире стал постоянный рост производства баранины, чем объясняется увеличение доли специализированных мясных пород и возрастающие требования к мясной продуктивности овец мясо-шерстного и шерстного направления продуктивности (В.И. Трухачев и др., 2018). В связи с этим возникает необходимость во внедрении в отрасль новых направлений на основе сочетания традиционных методов селекции с молекулярно-генетическими (В.П. Лушников, Т.О. Фетисова, М.И. Селионова и др., 2020).

Генетическое улучшение животных – это сложный и непрерывный процесс. В последние десятилетия произошли значительные изменения в области фундаментальной, а также прикладной генетики, предлагающие новые подходы к анализу генома с более высоким генетическим разрешением (Т. V. L. Berghof, 2019). На сегодняшний день появилась возможность выявления значительного числа генетических полиморфизмов на основе последовательности ДНК и использования их как маркеров с целью оценки генетической основы наблюдаемой фенотипической изменчивости (К. P. Voss-Fels, 2019). Расширяющиеся технологии позволяют исследовать вариации в первичной структуре генов и помогут животноводам по-новому и более усовершенствованно подходить к вопросам селекции. Благодаря методам молекулярной генетики предоставляется возможность проведения генотипирования животных с помощью молекулярных маркеров и отбора лучших по продуктивности на ранних стадиях жизни (Т.Е. Денискова и др., 2019). В этой связи применение молекулярно-генетических методов для оценки прогноза продуктивных показателей животных позволит ускорить процесс накопления генов, несущих желательные признаки, а систематический отбор животных – носителей генетических маркеров позволит повысить частоту встречаемости высокопродуктивных животных в будущих поколениях. Поэтому так важно идентифицировать генетические маркеры, ассоциированные с высоким уровнем мясной продуктивности, что особенно значимо при совершенствовании мясных качеств тонкорунных и полутонкорунных пород овец (Н.И. Ефимова, 2014; М.И. Селионова, 2015; А.В. Дейкин, 2015). Ожидается, что молекулярные маркеры будут и в дальнейшем служить в качестве основного инструмента для генетиков и селекционеров при отборе животных в соответствии с желаниями потребителей.

На сегодняшний день еще недостаточно сведений о полиморфизме генов *GH*, *LEP*, *MSTN* у овец отечественных пород. Поэтому исследователями проводится дальнейшее накопление знаний по выявлению ассоциаций этих генов с показателями мясной продуктивности. Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что определение взаимосвязей полиморфизма генов соматотропина (*GH*), миостатина (*MSTN*), лептина (*LEP*) с параметрами

продуктивности у овец пород советский меринос и северокавказская мясошерстная, разводимых на территории Ставропольского края, является актуальным.

Степень разработанности темы исследования. Приоритетами в селекции сельскохозяйственных животных на сегодняшний день являются параметры мясной продуктивности. Ведь в современных условиях международного рынка фокус внимания обращен на качественный потенциал производства мяса. Поэтому с целью повышения производства и улучшения качества баранины возникает необходимость во внедрении в отрасль новых направлений. Это становится возможным при сочетании традиционных методов селекции с молекулярно-генетическими. Их популярность обусловлена такими параметрами, как точность оценки генотипа популяции, породы и отдельно взятых животных (В.П. Лушников, Т.О. Фетисова, М.И. Селионова и др., 2020). По пути улучшения продуктивных качеств овец и создания генофонда с помощью маркер-ассоциированной селекции уже идут крупнейшие производители баранины, такие как Австралия и Новая Зеландия (S. Dominik, 2007). Продолжается работа по идентификации генов, связанных с продуктивными качествами овец. При этом наибольший интерес проявляется к генетическим маркерам, взаимосвязанным с генами (генами-кандидатами), белковый продукт которых выполняет существенную роль в формировании или регуляции физиолого-биохимических процессов (Yu.A. Kolosov, L.V. Getmantseva, N.V. Shirockova et al., 2015). Вместе с тем исследование полиморфизма генов соматотропина, миостатина и лептина у овец отечественных пород находится только на стадии изучения. Проведена работа на овцах сальской породы, разводимых в Ростовской области, по выявлению полиморфизма гена *GH*, выявлению достоверных ассоциаций между генотипами и селекционно-ценными признаками (Ю.А. Колосов, 2017). Подобное исследование провели у овец эдильбаевской породы, где был изучен полиморфизм гена лептина и его связь с мясной продуктивностью (В.П. Лушников, 2020). В то же время у овец импортной селекции этому вопросу уделяется существенное внимание. Полученные экспериментальные данные на животных свидетельствуют о том, что суперэкспрессия гена *GH* способствует ускоренному росту и развитию организма (L.R. Piper et al., 2001). Выявлена связь между отдельным нуклеотидным полиморфизмом в гене лептина с ростом скелетных мышц и качеством мяса у овец пород полл дорсет и суффолк (D. Boucher et al., 2006). Ряд ученых из Новой Зеландии, Норвегии, Индии изучали нуклеотидные последовательности гена миостатина (I.A. Voman et al., 2009; J.Han, R.H. Forrest, J.G.H. Hickford, 2013; M. Pothuraju et al., 2015). Выявлена взаимосвязь полиморфизма гена миостатина с признаками мясной продуктивности у овец зарубежной селекции (J.W. Kijas et al., 2007; S.Q. Gan et al., 2008; C.L. Donaldson et al., 2014; J. Wang et al., 2015; M. Farhadian, A. Hashemi, 2016; A.R. Sahu et al., 2017).

Поскольку в овцеводстве идет ориентирование на повышение продуктивности, улучшение качества продукции и, как следствие, экономической эффективности в целом, то необходимо рационально использовать имеющийся генетический ресурс. Поэтому весьма ценными являются исследования,

направленные на получение сведений о наличии молекулярно-генетических маркеров продуктивных и биологических особенностей у овец. Это позволит выявлять высокопродуктивных животных в популяциях пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная.

Цель и задачи исследований. Целью настоящей работы являлось исследование полиморфизма генов соматотропина (*GH*), лептина (*LEP*), миостатина (*MSTN*), определение ассоциаций с показателями продуктивности овец пород советский меринос, северокавказская мясо-шерстная и выявление желательных генотипов для использования в селекции.

Для достижения указанной цели поставлены следующие задачи:

- изучить полиморфизм генов *GH*, *LEP*, *MSTN* у овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная;
- выявить особенности роста и развития овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная с разными генотипами генов *GH*, *LEP*, *MSTN*;
- определить естественную резистентность и биохимический состав крови овец пород советский меринос, северокавказская мясо-шерстная с разными генотипами генов *GH* и *LEP*;
- проанализировать ассоциативные связи полиморфизма генов *GH*, *LEP*, *MSTN* с показателями мясной продуктивности овец исследуемых пород;
- дать экономическую оценку эффективности выращивания молодняка овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная гетерозиготных вариантов GH^{CT} и LEP^{GT} .

Научная новизна работы. В представленной работе с использованием проведенного секвенирования нуклеотидных последовательностей генов *GH*, *LEP* и *MSTN* впервые изучены точечные мутации в структуре генома овец различного направления продуктивности, разводимых на территории Ставропольского края. Впервые применен комплексный подход к исследованию генетических параметров, ассоциированных с показателями естественной резистентности, биохимическим статусом и продуктивными характеристиками овец отечественных пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная. Дана генетическая структура популяций овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная по генам *GH*, *LEP* и *MSTN*. Впервые проанализированы ассоциативные связи полиморфизма генов *GH*, *LEP* и *MSTN* с количественно-качественными характеристиками мясной продуктивности. Выявлены генотипы в генах *GH*, *LEP* и *MSTN* с последующим генетическим обоснованием перспективности селекции для дальнейшей оценки овец с высоким генетическим потенциалом продуктивности.

Теоретическая и практическая значимость работы. Практическая значимость проведенного исследования заключается в дальнейшем развитии и внедрении маркер-ориентированной селекции по генам гормона роста, лептина, миостатина в российское овцеводство. Получены новые данные о полиморфизме генов *GH*, *LEP*, *MSTN* и связи аллельных вариантов генов с фенотипическими признаками. Использование выявленных генотипов в качестве генетических маркеров позволит проводить оценку, прогноз продуктивности овец в раннем возрасте. Установленные закономерности зоотехнических показателей,

биохимических параметров, молекулярно-генетических факторов могут быть применены для оценки овец желательного генотипа с высоким потенциалом продуктивности. Полученные результаты могут быть использованы в дальнейших научных исследованиях, нацеленных на увеличение эффективности селекционно-племенной работы в отрасли овцеводства, в учебном процессе в качестве лекционного материала в области генетики, селекции и разведения овец при подготовке специалистов зооветеринарного и биологического профиля.

Методология и методика исследования. Методологической основой при проведении исследований послужили труды отечественных и зарубежных ученых, посвященные изучению молекулярно-генетических маркеров в селекции сельскохозяйственных животных. Для достижения цели диссертационного исследования применялась совокупность методов научного познания, использовались специальные методы – молекулярно-генетические, биохимические, зоотехнические, а также сопоставление и обобщение полученного экспериментального материала. Полученный экспериментальный материал обрабатывался на основе применения расчетно-статистических методов исследования.

Основные положения, выносимые на защиту:

- гены *GH*, *LEP*, *MSTN* у овец породы советский меринос полиморфны;
- аллельные профили и генотипы по локусам генов *GH*, *LEP* в популяции овец северокавказской мясо-шерстной породы определены;
- аллельные профили и генотипы по генам *GH*, *LEP*, *MSTN* в популяции овец породы советский меринос взаимосвязаны с показателями роста, развития, убойными качествами;
- рост и развитие, мясная продуктивность овец северокавказской мясо-шерстной породы зависят от полиморфных вариантов в генах *GH*, *LEP*;
- экономическая эффективность разведения молодняка овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная в зависимости от генотипов по генам *GH*, *LEP*, *MSTN* различна.

Степень достоверности и апробация результатов. Объективность исследований базируется на полученном фактическом материале, использовании современных методов и оборудования, анализе экспериментальных данных с применением методов математической статистики: программного обеспечения (BIOSTAT, MS Excel), дисперсионного анализа на основе использования табличного процессора MS Excel и интегрированного математического пакета Matlab. Результаты проведенных исследований внедрены в производственную деятельность овцеводческих племенных хозяйств, находящихся на территории Ставропольского края: СПК племзавод «Восток» Степновского района, СПК колхоз-племзавод им. Ленина Арзгирского района, и подтверждены актами о внедрении законченных научно-исследовательских разработок в сельскохозяйственное производство.

Настоящая работа осуществлялась в соответствии с государственным планом НИР ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» согласно направлению исследований 157 «Теоретические основы молекулярно-

генетических методов управления селекционным процессом с целью создания новых генотипов животных, птиц, рыб и насекомых с хозяйственно-ценными признаками, системы их содержания и кормления» (№ госрегистрации АААА-А19-119072690003-2; АААА-А19-119072690005-6). Результаты проведенных исследований опубликованы в рецензируемых изданиях, сборниках трудов научных конференций различного уровня. Основные результаты диссертации были доложены, обсуждены и положительно оценены: на заседаниях в лаборатории иммуногенетики и ДНК-технологий, отделе овцеводства и козоводства; на заседаниях Ученого совета ВНИИОК – филиала ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ» в 2017–2019 гг. Материалы диссертационной работы докладывались и получили одобрение на международных научно-практических конференциях: «Научные основы повышения продуктивности и здоровья сельскохозяйственных животных» ФГБНУ КНЦЗВ, г. Краснодар (2019); «Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции, Саратовский ГАУ, г. Саратов (2020); «Актуальные проблемы естественных и сельскохозяйственных наук», Ошский ГУ, Кыргызская республика (2021); «Аграрная наука и инновационное развитие животноводства – основа экологической безопасности продовольствия», Саратовский ГАУ, г. Саратов (2021).

Публикация результатов исследований. По основным результатам исследований, выполненных по теме диссертационной работы, опубликовано 9 научных работ, из них 5 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации: «Главный зоотехник», «Вестник АПК Ставрополя», «Ветеринария и кормление», «Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование», «Овцы, козы, шерстяное дело».

Объем и структура диссертации. Диссертационные материалы представлены на 137 страницах компьютерного текста, иллюстрированы 49 таблицами, 7 рисунками, список использованной литературы насчитывает 224 источника, из которых 100 – на иностранных языках. Научный труд состоит из следующих разделов: введение, обзор литературы, материал и методы исследования, результаты собственных исследований, заключение, содержащее выводы, рекомендации производству, перспективы дальнейшей разработки темы, список использованной литературы.

Личный вклад соискателя. Автором, при участии научного руководителя, проанализировано современное состояние проблемы, обоснована цель и задачи исследования, определены схема и методы исследования. Проведена статистическая обработка экспериментальных данных, их интерпретация. Кроме того, автором самостоятельно подготовлено экономическое обоснование результатов исследований, сформулированы выводы, практические предложения производства. Представленная диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой и свидетельствует о личном вкладе автора в зоотехническую науку в области овцеводства.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В разделе изложены материалы научных трудов отечественных и зарубежных ученых по применению генетических маркеров продуктивности в селекции сельскохозяйственных животных, в том числе овец. Рассматриваются данные о строении, функциях, полиморфизме генов *GH*, *LEP* и *MSTN* у сельскохозяйственных животных.

2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспериментальная составляющая научно-производственного опыта проводилась в овцеводческих племенных хозяйствах Ставропольского края: СПК колхозе-племзаводе им. Ленина Арзгирского района и СПК племзаводе «Восток» Степновского района в период с 2016 по 2019 год. Исследования проводились согласно общей схеме, представленной на рисунке 1.

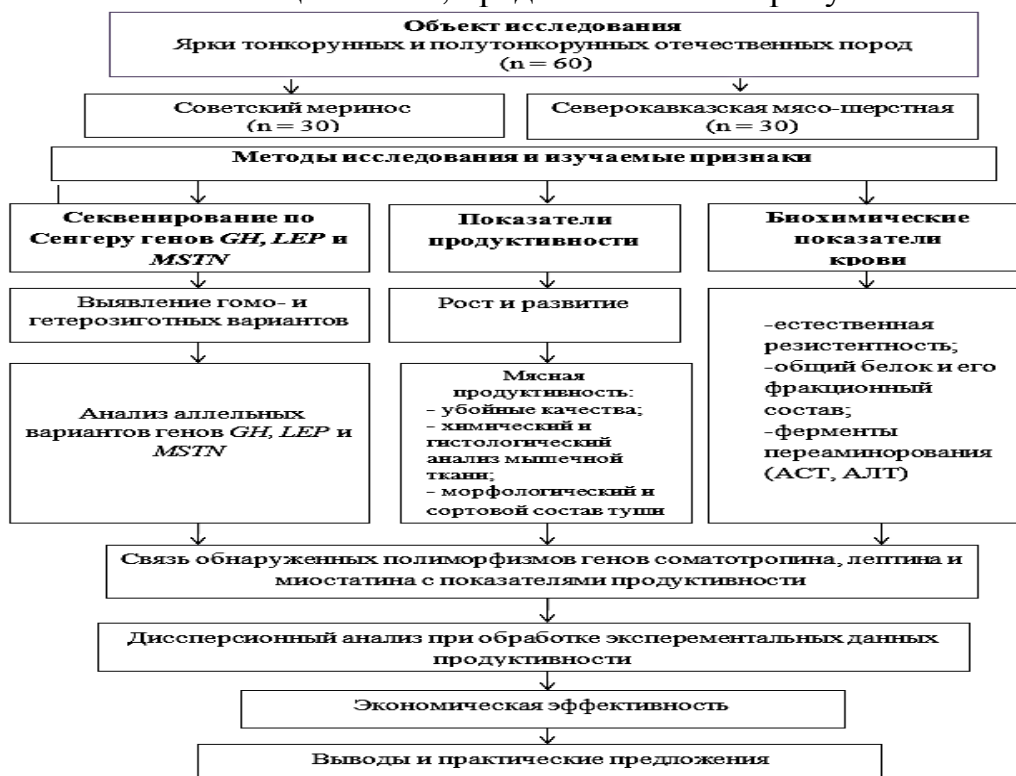


Рисунок 1 – Общая схема исследований

Объектом исследования являлись овцы пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная. Все животные содержались в оптимальных условиях, отвечающих зоотехническим нормам и зоогигиеническим требованиям.

Методики генотипирования и биохимических исследований. В качестве биоматериала для проведения ДНК-генотипирования у овец использовали кровь. Всего было отобрано 60 проб (у овец породы северокавказская мясо-шерстная – 30 проб и советский меринос – 30 проб). Лабораторные исследования проводили на базе ФКУЗ «Ставропольский научно-исследовательский противочумный

институт». Отбор генетического материала осуществляли у овец в возрасте четырех месяцев в закрытые системы забора крови S-Monovette® производства SARSTEDT (Германия) с антикоагулянтом ЭДТА. Выделение ДНК проводили методом нуклеосорбции с использованием сертифицированного набора «ДНК сорб – В» (ИнтерЛабСервис, Россия). Для постановки ПЦР использовали реагенты производства «ИнтерЛабСервис» (Россия). В качестве праймеров использовались следующие нуклеотидные последовательности: для гена *GH*: F: 5'-GAAACCTCCTTCCTCGCCC-3', R: 5'-CCAGGGTCTAGGAAGCCACA-3' (амплификационный фрагмент – 365 п. н.); для гена *LEP*: F: 5'-AGGAAGCAC-STCTACGCTC-3', R: 5'-СТТААГГСТТСАГСАСС-3' (амплификационный фрагмент – 471 п. н.); для гена *MSTN*: F: 5'-CCGGAGAGACTTTGGGCTTGA-3', R: 5'-TCATGAGCACCCACAGCGGT-3' (амплификационный фрагмент – 337 п. н.). Амплификацию проводили на термоциклере планшетного типа («Bio-Rad», США). Секвенирование осуществляли с использованием генетического анализатора ABI PRISM 3500 Genetic Analyzer (США) и набора реагентов BigDye™ Terminator v3.1 Cycle Sequencing Kit в соответствии с инструкцией производителя.

Для проведения биохимических исследований образцы крови у животных отбирали из яремной вены в возрасте 4 и 9 месяцев. В ходе осуществления исследований использовались следующие методики: уровень реактивности – по тестам резистентности (бактерицидная, лизоцимная активность) согласно методическим рекомендациям СНИИЖК (2013); уровень общего белка определяли на рефрактометре RL (Poland), содержание белковых фракций – фотонейфелометрическим методом; концентрацию мочевины устанавливали набором реактивов «ДИАХИМ – МОЧЕВИНА»; содержание креатинина, уровень общих липидов, активность ферментов переаминирования (АЛТ, АСТ) измеряли набором реактивов Lachema; уровень глюкозы определяли с использованием набора реактивов «ГЛЮКОЗА – ФКД».

Оценка продуктивных качеств и методы их исследования. Динамику живой массы изучали при рождении, в возрасте 4 и 9 месяцев путем индивидуального взвешивания животных. Особенности телосложения определяли на основании измерения промеров в возрасте 9 месяцев и вычисления индексов телосложения. Мясную продуктивность овец оценивали путем контрольного убоя животных в возрасте 9 месяцев, согласно методике, разработанной СНИИЖК (2009). Оценку морфологического состава мышечной ткани осуществляли путем проведения обвалки туш, с учетом сортовой принадлежности мяса в соответствии с действующим ГОСТ Р 52843-2007, на основе выяснения соотношения мякоти к костям, расчетом коэффициента мясности. Химический анализ мышечной ткани (влаги, белок, жир, зола), определяли путем отбора проб мяса с длиннейшей мышцы спины. Гистологические исследования длиннейшей мышцы спины (*m. longissimus dorsi*) проводили согласно методическим указаниям СНИИЖК (2010).

Экономическую оценку выращивания молодняка различных генотипов устанавливали на основе учета всех затрат и полученного от них условного дохода.

Оценка генетической структуры популяций овец. Генетико-статистический анализ проводился по формулам, изложенным в методике Л.В. Ольховской и др. (2007). Для выяснения влияния того или иного комплекса генотипов на значения исследуемых признаков был применен дисперсионный анализ с использованием табличного процессора MS Excel и интегрированного математического пакета Matlab.

Материалы исследований обрабатывались биометрическим способом сумм по общепринятой методике Е.К. Меркурьевой (1964), Н.А. Плохинскому (1969), а также методом вариационной статистики по Стьюденту с помощью программы BIOSTAT, в пределах следующих уровней значимости: $p < 0,001$; $p < 0,05$.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1. Результаты секвенирования и частота аллельных вариантов в генах *GH*, *LEP* и *MSTN*

По результатам секвенирования образцов ДНК идентифицировали миссенс-мутацию, расположенную в экзоне V гена *GH*, которая привела к замене Arg → Gln (с.321C>T); миссенс-мутацию экзона III гена *LEP*, ответственную за замену Val → Leu (с.387G>T); синонимичную замену в экзоне III гена *MSTN* (с.212C>A) (таблица 1).

Таблица 1 – Частота аллелей и генотипов по генам *GH*, *LEP*, *MSTN* у овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная

Показатель	Ген					
	<i>GH</i>		<i>LEP</i>		<i>MSTN</i>	
Советский меринос						
Частота генотипов, %	<i>CC</i>	53,3	<i>GG</i>	73,3	<i>CC</i>	70,0
	<i>CT</i>	33,3	<i>GT</i>	26,7	<i>CA</i>	20,0
	<i>TT</i>	13,4	<i>TT</i>	0	<i>AA</i>	10,0
Частота аллелей	<i>C</i>	0,70	<i>G</i>	0,86	<i>C</i>	0,82
	<i>T</i>	0,30	<i>T</i>	0,14	<i>A</i>	0,18
Северокавказская мясо-шерстная						
Частота генотипов, %	<i>CC</i>	53,3	<i>GG</i>	60,0	<i>CC</i>	100,0
	<i>CT</i>	30,0	<i>GT</i>	26,7	<i>CA</i>	0
	<i>TT</i>	16,7	<i>TT</i>	13,3	<i>AA</i>	0
Частота аллелей	<i>C</i>	0,68	<i>G</i>	0,73	<i>C</i>	1,0
	<i>T</i>	0,32	<i>T</i>	0,27	<i>A</i>	0

У овец породы советский меринос частота встречаемости референсного аллеля *GH^C* в 2,3 раза превысила частоту встречаемости мутантного аллеля *GH^T*. Частота встречаемости референсного аллеля *LEP^G* в 6,1 раза выше частоты встречаемости мутантного аллеля *LEP^T*. Обнаружена частота встречаемости референсного аллеля *MSTN^C* – в 4,6 раза выше, чем частота встречаемости мутантного аллеля *MSTN^A*. У овец северокавказской мясо-шерстной породы частота встречаемости референсного аллеля *GH^C* в 2,2 раза превысила частоту встречаемости мутантного аллеля *GH^T*. Референсный аллель

LEP^G встречается в 2,7 раза чаще, чем мутантный аллель LEP^T . Исследования фрагмента экзона III гена миостатина показали, что у овец изучаемой популяции на данном участке гена *MSTN* однонуклеотидных замен не обнаружено.

3.2. Генетическая структура популяций овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная по молекулярно-генетическим маркерам

Проведен генетико-статистический анализ данных по генам *GH*, *LEP*, *MSTN* у овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная (таблица 2). Отрицательные значения теста гетерозиготности по генам *GH* (-0,09) и *MSTN* (-0,13) указывают на недостаток количества гетерозигот по локусам изучаемых генов относительно фактически полученных данных. Однако положительное значение теста гетерозиготности было по гену *LEP* (0,03) у овец породы советский меринос. Подобный результат наблюдался у овец северокавказской мясо-шерстной породы. Степень гомозиготности по генам *GH*, *LEP* и *MSTN* распределилась в диапазоне 56,4–76,0%, что является хорошей предпосылкой генетической изменчивости. При рассмотрении коэффициента степени гетерозиготности у исследуемых пород овец выявлены более высокие значения по локусу гена *GH* (44,3 и 42,7 %), но меньшее числовое значение изучаемого показателя обнаружено по локусу гена *MSTN* – 30,1 % и по локусу гена *LEP* – 44,3 и 24,4%.

Таблица 2 – Показатели генетической структуры исследуемых пород овец

Показатель	Порода				
	Советский меринос			Северокавказская мясо-шерстная	
	Ген			Ген	
	<i>GH</i>	<i>LEP</i>	<i>MSTN</i>	<i>GH</i>	<i>LEP</i>
χ^2	0,116	0,087	2,71	0,29	0,51
Индекс фиксации (Fis)	0,214	0,125	0,436	0,312	0,315
Степень гетерозиготности (h) %	42,7	24,4	30,1	44,3	40,0
Мера информационного полиморфизма (PIC)	0,42	0,24	0,296	0,40	0,44

3.3. Ассоциация полиморфизма в генах *GH*, *LEP*, *MSTN* с показателями продуктивности и биологическими особенностями овец породы советский меринос

3.3.1. Ассоциация полиморфизма в генах *GH*, *LEP*, *MSTN* с показателями роста и телосложения овец породы советский меринос

Анализируя живую массу, можно отметить достоверное превосходство ярок генотипа GH^{CT} относительно сверстниц с генотипами GH^{CC} и GH^{TT} во все возрастные периоды: при рождении – на 11,2 и 14,8 % ($p < 0,001$), отъеме – на 5,0 и 7,6 % ($p < 0,001$); в 9 месяцев – на 4,1 и 6,2 % ($p < 0,001$) (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика живой массы овец породы советский меринос с различными генотипами по генам *GH*, *LEP*, *MSTN*

Генотип	Живая масса при рождении, кг	Живая масса при отъеме, кг	Живая масса в 9 месяцев, кг
<i>GH</i>			
<i>GH^{CC}</i>	4,03±0,09	24,4±0,25	34,8±0,28
<i>GH^{CT}</i>	4,48±0,15	25,6±0,31	36,23±0,33
<i>GH^{TT}</i>	3,90±0,13	23,8±0,24	34,1±0,36
<i>LEP</i>			
<i>LEP^{GG}</i>	4,1±0,11	24,5±0,27	34,9±0,31
<i>LEP^{GT}</i>	4,51±0,18	25,78±0,35	36,35±0,37
<i>MSTN</i>			
<i>MSTN^{CC}</i>	4,49±0,17	25,67±0,33	35,92 ±0,35
<i>MSTN^{CA}</i>	3,82±0,11	23,74±0,22	34,02±0,31
<i>MSTN^{AA}</i>	4,0±0,08	24,38±0,23	34,57±0,27

Среднесуточный прирост животных генотипа *GH^{CT}* в период от рождения до отъема был выше, чем у молодняка генотипов *GH^{CC}* и *GH^{TT}*, на 3,7 и 6,2% ($p < 0,05$). Сопоставление промеров у исследуемых животных выявило преимущество ярков – носителей *GH^{CC}* и *GH^{CT}* генотипов по сравнению с овцами *GH^{TT}* генотипа по высоте в холке – на 10,5 и 10,9 % ($p < 0,05$), высоте в крестце – на 12,5 и 13,7 % ($p < 0,05$), грудным промерам: глубине груди – на 6,6 и 7,8 % ($p < 0,05$), ее ширине – на 2,4 и 7,6 % ($p < 0,05$), обхвату – на 2,9 и 4,3 % ($p < 0,05$). Полученные результаты динамики массы тела выявили, что наибольшей живой массой характеризовались ярки с генотипом *LEP^{GT}*, достоверное превосходство которых над носителями генотипа *LEP^{GG}* составило: при рождении – 10 %, при отъеме – 5,2 %, в 9 месяцев – 4,2 % ($p < 0,05$). Установлено, что животные с генотипом *LEP^{GT}*, отличающиеся наибольшей живой массой, характеризовались и самыми высокими показателями прироста.

Анализ результатов динамики массы тела позволил установить, что наибольшую живую массу имели ярки с генотипом *MSTN^{CC}* относительно овец с генотипами *MSTN^{AA}* и *MSTN^{CA}*: при рождении – 12,3 и 17,5 % ($p < 0,001$), отъеме – 5,3 и 8,2 % ($p < 0,05$), в 9 месяцев – 4,0 и 5,6 % ($p < 0,05$). Интенсивность роста ярков с генотипом *MSTN^{CC}* была выше, чем у сверстниц с генотипами *MSTN^{AA}* и *MSTN^{CA}*, от рождения до 4 месяцев по среднесуточному приросту на 3,9 и 6,3 % ($p < 0,05$). Полученные данные также свидетельствуют о превосходстве животных – носителей *MSTN^{CC}* и *MSTN^{AA}* по сравнению с ярками *MSTN^{CA}* генотипа по следующим промерам: высоте в холке – на 10,0 и 10,3 % ($p < 0,05$), высоте в крестце – на 12,4 и 13,8 % ($p < 0,05$), грудным промерам (глубине груди – на 6,9 и 8,1 %, обхвату груди – на 3,8 и 5,1 %).

3.3.2. Иммунологическая реактивность овец породы советский меринос с различными генотипами по генам *GH*, *LEP*

Уровень показателей иммунной реактивности показал превосходство животных – носителей генотипа *GH^{CT}* по бактерицидной и лизоцимной

активности сыворотки крови в возрасте 4 месяца на 1,32; 1,8 и 2,0; 2,66 абс.%, 9 месяцев – на 1,21; 1,52 и 1,88; 2,48 абс.%, по сравнению с аналогами GH^{CC} и GH^{TT} . Анализ гуморальных факторов защиты исследуемого поголовья позволил выявить, что особи с генотипом LEP^{GT} отличались более высокими показателями по уровню БАСК и ЛАСК в возрасте 4 месяца на 1,65 и 1,39 абс.%, чем животные с генотипом LEP^{GG} .

3.3.3. Биохимические параметры крови у молодняка овец породы советский меринос в зависимости от генотипов по генам GH , LEP

Анализ изучения биохимических параметров у овец показал, что в крови животных генотипа GH^{CT} степень увеличения концентрации сывороточного белка составила в возрасте 4 месяцев 3,4 и 5,2 % ($p < 0,001$), 9 месяцев – 2,7 и 5,6 % ($p < 0,001$), что больше, чем у ярок – носителей генотипов GH^{CC} , GH^{TT} . Рассмотрение качественного состава белковой картины крови выразилось в увеличении концентрации альбуминов и глобулинов у ярок генотипа GH^{CT} в 4 месяца на 3,5; 5,8 % ($p < 0,05$) и 3,4; 4,5 % относительно животных генотипов GH^{CC} и GH^{TT} . Исследования особенностей белкового спектра крови овец в зависимости от генотипов гена LEP в возрасте 4 месяцев выявили, что у носителей генотипа LEP^{GT} оказался больший уровень сывороточного белка на 5,8 % ($p < 0,001$), альбуминов – на 8,2 % ($p < 0,001$), глобулинов – на 3,6 % ($p < 0,05$) по сравнению с обладательницами генотипа LEP^{GG} .

3.3.4. Ассоциация полиморфизма в генах GH , LEP , $MSTN$ с количественно-качественными показателями мясной продуктивности овец породы советский меринос

Наиболее значимые различия при изучении мясной продуктивности овец породы советский меринос различных генотипов по генам GH , LEP , $MSTN$ отображены на рисунках 2, 3 и 4. Анализ результатов контрольного убоя исследуемого поголовья выявил преимущество особей GH^{CT} генотипа над животными – носителями генотипов GH^{CC} и GH^{TT} по живой массе перед убоем на 4,5 и 6,5% ($p < 0,001$), массе парной туши – 6,1 и 9,6 % ($p < 0,001$), убойной массе – на 6,1 и 9,5 % ($p < 0,001$).

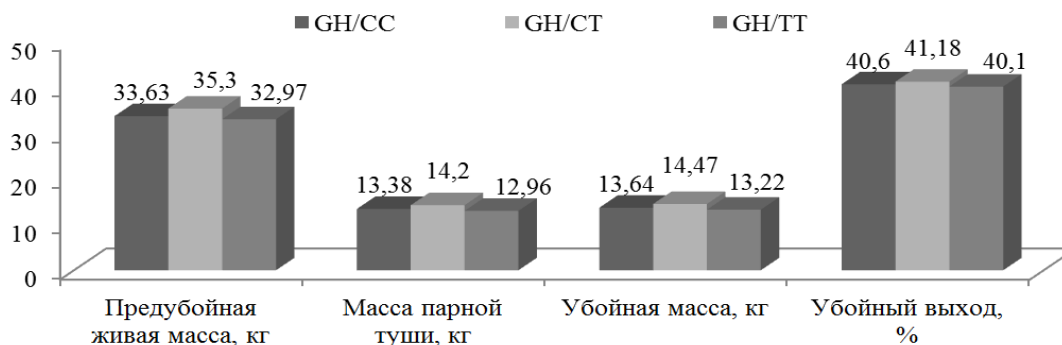


Рисунок 2 – Результаты контрольного убоя овец породы советский меринос с различными генотипами по гену GH

Носительницы генотипа LEP^{GT} выгодно отличались от сверстниц генотипа LEP^{GG} по живой массе перед убоем на 4,4 % ($p < 0,001$), по массе парной туши – 6,3 % ($p < 0,001$), количеству внутреннего жира – 9,8 % ($p < 0,001$), убойной массе на 6,3 % ($p < 0,001$).

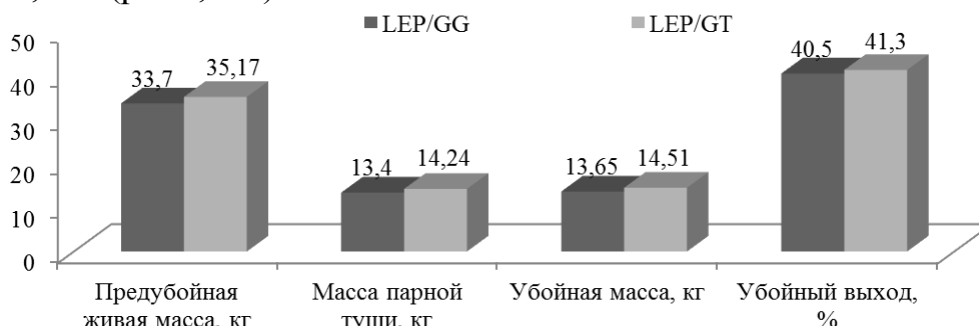


Рисунок 3 – Результаты контрольного убоя овец породы советский меринос с различными генотипами по гену LEP

Установлено превосходство ярков генотипа $MSTN^{CC}$ по живой массе перед убоем на 2,8 и 4,8 %, массе парной туши – 3,1 и 6,0 %, убойной массе – 3,1 и 5,8 % над ярками обладательницами генотипов $MSTN^{AA}$ и $MSTN^{CA}$.

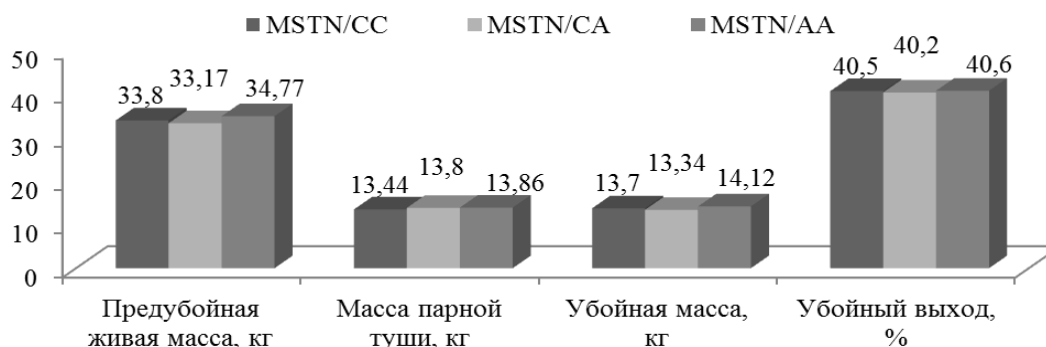


Рисунок 4 – Результаты контрольного убоя овец породы советский меринос с различными генотипами по гену $MSTN$

Результаты химического состава мышечной ткани овец позволили выявить определенные различия количественного содержания химических компонентов в зависимости от генотипов по генам GH , LEP , $MSTN$ (таблица 4).

Так, в мышечной ткани ярков генотипа GH^{CT} влаги установлено меньше на 3,34 и 2,82 абс.%, но на 3,2 и 2,63 абс.% больше протеина, чем в мясе животных GH^{CC} и GH^{TT} генотипов соответственно. Аналогичная закономерность проявилась при анализе химического анализа мышечной ткани у овец в зависимости от генотипов гена LEP . В мышечной ткани ярков генотипов $MSTN^{CC}$ и $MSTN^{CA}$ жира содержалось больше на 1,25–2,0 абс. %, чем в мясе генотипа $MSTN^{AA}$. Однако в мясе овец генотипов $MSTN^{CC}$ и $MSTN^{AA}$ наблюдалось большее содержание протеина на 2,86 и 2,04 абс. %, чем у аналогов $MSTN^{CA}$.

Таблица 4 – Химический состав мышечной ткани овец породы советский меринос в зависимости от генотипов по генам *GH*, *LEP*, *MSTN*, %

Генотип	Показатель				
	Общая влага	Сухое вещество	Сырой жир	Сырая зола	Сырой протеин
<i>GH</i>					
<i>GH^{CC}</i>	67,54±1,20	32,46±1,2	8,54±0,73	1,05±0,08	22,87±1,35
<i>GH^{CT}</i>	64,20±3,34	35,80±3,34	8,68±1,19	1,04±0,02	26,07±2,22
<i>GH^{TT}</i>	67,02±1,52	32,98±1,52	8,51±0,76	1,03±0,07	23,44±1,06
<i>LEP</i>					
<i>LEP^{GG}</i>	67,46±0,91	32,54±0,91	8,68±1,09	1,12±0,03	22,74±0,28
<i>LEP^{GT}</i>	65,11±3,63	34,89±3,63	9,23±1,0	1,06±0,08	24,60±2,99
<i>MSTN</i>					
<i>MSTN^{CC}</i>	65,57±0,27	34,43±0,27	9,16±0,92	1,02±0,07	24,25±0,72
<i>MSTN^{CA}</i>	66,72±0,87	33,28±0,87	9,91±0,07	1,16±0,01	22,21±0,83
<i>MSTN^{AA}</i>	65,98±1,67	34,02±1,67	7,91±0,69	1,04±0,01	25,07±1,01

Проведенный микроструктурный анализ мышечной ткани показал, что баранина, полученная от животных генотипа *GH^{CT}*, характеризовалась большим количеством мышечных волокон на 4,7 и 5,4 % ($p < 0,05$), меньшим на 8,4 и 10,2 % их диаметром ($p > 0,05$), меньшим содержанием соединительной ткани на 0,47 и 0,62 абс. процента, по сравнению с аналогами *GH^{CC}* и *GH^{TT}*. Наибольшим коэффициентом «мраморности» отличалась мышечная ткань в генотипах *GH^{CC}*, *GH^{CT}* – на 11,8 и 3,5 %, чем мясо животных генотипа *GH^{TT}* (таблица 5).

Таблица 5 – Микроструктурный анализ мышечной ткани у ярок породы советский меринос различных генотипов по генам *GH*, *LEP*, *MSTN*

Генотип	Количество мышечных волокон, шт.	Диаметр мышечного волокна, мкм	Общая оценка «мраморности», балл	Содержание соединительной ткани, %
<i>GH</i>				
<i>GH^{CC}</i>	386,58±8,49	31,93±0,4	28,97±0,42	9,0±0,15
<i>GH^{CT}</i>	404,78±13,86	29,26±0,82	31,28±0,9	8,53±0,03
<i>GH^{TT}</i>	383,92±8,33	32,6±0,55	27,98±0,27	9,15±0,12
<i>LEP</i>				
<i>LEP^{GG}</i>	383,24±5,87	31,43±0,74	29,39±0,43	8,69±0,12
<i>LEP^{GT}</i>	412,15±5,77	29,87±0,98	30,94±0,89	8,23±0,09
<i>MSTN</i>				
<i>MSTN^{CC}</i>	410,19±6,22	30,05±0,96	29,96±0,67	8,62±0,19
<i>MSTN^{CA}</i>	378,94±10,98	32,6±1,23	28,79±0,42	9,03±0,28
<i>MSTN^{AA}</i>	386,36±8,05	32,55±0,06	28,4±0,67	9,01±0,15

Выявлено, что для мышечной ткани животных генотипа *LEP^{GT}* было характерно большее количество мышечных волокон на 7,5 % ($p < 0,001$), меньший диаметр волокна на 5,2 % ($p < 0,001$) и количество соединительной ткани на 0,46 абс. процента. Мясо, полученное от животных генотипа *MSTN^{CC}*,

характеризовалось бóльшим количеством мышечных волокон на 6,2 и 8,3 % ($p < 0,05$), меньшим на 7,7 и 7,8 % их диаметром ($p > 0,05$), меньшим содержанием соединительной ткани на 0,39 и 0,41 абс. процента, но высоким коэффициентом «мраморности» на 4,1 и 2,1 %, чем у носительниц генотипов $MSTN^{CA}$ и $MSTN^{AA}$.

3.5. Ассоциация полиморфизма в генах *GH*, *LEP* с продуктивными качествами и биологическими особенностями овец северокавказской мясо-шерстной породы

3.5.1. Ассоциация полиморфизма в генах *GH*, *LEP* с признаками роста и экстерьерными особенностями овец северокавказской мясо-шерстной породы

Анализ результатов об изменении величины живой массы свидетельствует о преимуществе ярок генотипа GH^{CT} над животными генотипов GH^{CC} и GH^{TT} , составившее при рождении 6,5 и 14,0 % ($p < 0,001$); в возрасте 4 месяца – 7,7 и 10,8 % ($p < 0,001$); 9 месяцев – 5,6 и 7,9 % ($p < 0,001$) (таблица 6).

Таблица 6 – Динамика живой массы овец породы северокавказская мясо-шерстная различных генотипов по генам *GH*, *LEP*

Генотип	Живая масса при рождении, кг	Живая масса при отъеме, кг	Живая масса в 9 месяцев, кг
<i>GH</i>			
GH^{CC}	4,60±0,11	28,40±0,69	41,28±0,5
GH^{CT}	4,90±0,17	30,60±0,69	43,60±0,48
GH^{TT}	4,30±0,32	27,60±1,1	40,40±0,45
<i>LEP</i>			
LEP^{GG}	4,5±0,13	28,5±0,64	41,3±0,38
LEP^{GT}	4,8±0,19	30,1±0,78	43,1±0,59
LEP^{TT}	4,78±0,27	28,0±1,7	40,5±1,2

В молочный период бóльшая интенсивность роста отмечена у ярок генотипа GH^{CT} , о чем свидетельствует величина среднесуточного прироста, составившая 214,16 г, что выше в сравнении с аналогами GH^{CC} и GH^{TT} на 8,2; 10,5 % ($p < 0,001$). Анализ сопоставления промеров выявил превосходство ярок генотипа GH^{CT} по сравнению животными генотипов GH^{CC} , GH^{TT} по всем изученным параметрам: по высоте в холке – на 9,6 и 13,1 % ($p < 0,001$), высоте в крестце – 7,5 и 9,3 % ($p < 0,001$), грудным промерам (глубине груди – 3,8 и 14,1 % ($p < 0,001$), ширине груди – 6,1 и 19,0 % ($p < 0,001$), обхвату груди – 7,6 и 12,3 % ($p < 0,001$)), косой длине туловища – 10,5 и 16,6 % ($p < 0,001$), обхвату пясти – 6,9 и 16,5 % ($p < 0,001$). Сравнение результатов динамики живой массы выявило преимущество животных генотипов LEP^{GT} и LEP^{TT} над ярками генотипа LEP^{GG} по живой массе при рождении на 6,7 и 6,2 % ($p < 0,05$) в возрасте 4 месяца – 5,6; 7,5 % ($p < 0,05$); 9 месяцев – 4,7; 6,9 % ($p < 0,001$).

3.5.2. Уровень резистентности овец северокавказской мясо-шерстной породы с различными генотипами по генам *GH*, *LEP*

Рассматривая гуморальные факторы защиты исследуемого поголовья в зависимости от генотипов гена *GH*, выявлено превосходство животных генотипа *GH^{CT}* по уровню бактерицидной и лизоцимной активности сыворотки крови в возрасте 4 месяца на 1,58; 3,82 и 0,62; 3,44 абс. %, 9 месяцев – на 2,53; 3,67 и 1,7; 3,51 абс. %, по сравнению с аналогами *GH^{CC}* и *GH^{TT}*. Оценка защитного потенциала овец с учетом сочетаний генотипов *LEP* позволила установить преимущество молодняка гетерозиготного генотипа над животными гомозиготных генотипов по изученным параметрам естественной резистентности в различные возрастные периоды.

3.5.3. Особенности обмена веществ у овец северокавказской мясо-шерстной породы с различными генотипами по генам *GH*, *LEP*

При оценке уровня метаболизма ярок в изученные возрастные периоды с учетом сочетаний генотипов по генам *GH*, *LEP* установлено, что группа особей с генотипами *GH^{CT}*, *LEP^{GT}* отличалась высоким уровнем сывороточного белка и его фракционного состава по сравнению с животными гомозиготных генотипов рассматриваемых генов.

Анализом данных ферментов переаминирования сыворотки крови установлено, что наибольший уровень активности изучаемых ферментов (АСТ и АЛТ) был характерен для животных – носителей генотипа *GH^{CT}*, по сравнению с ярками генотипов *GH^{CC}* и *GH^{TT}*, в возрасте 4 месяца на 3,2; 5,4 % и 5,5; 7,5 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$), в 9 месяцев – 6,7; 8,4 % ($p < 0,05$) и 7,2; 8,4 % ($p < 0,001$). Наибольшая активность ферментов переаминирования также отмечена в крови животных генотипа *LEP^{GT}*, по сравнению с аналогами *LEP^{GG}* и *LEP^{TT}* составившая: в возрасте 4 месяца по АСТ – 3,7 и 8,6 %, по АЛТ – 3,7 и 4,7 %; в 9 месяцев по АСТ – 7,2 и 11,8 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$), по АЛТ – 3,3 и 6,8 % ($p < 0,05$).

3.5.4. Ассоциация полиморфизма в генах *GH* и *LEP* с количественно-качественными показателями мясной продуктивности овец северокавказской мясо-шерстной породы

Анализируя данные мясной продуктивности у овец северокавказской мясо-шерстной породы выявили, что животные генотипа *GH^{CT}* превосходили ярки генотипов *GH^{CC}*, *GH^{TT}* по живой массе перед убоем на 6,8 и 9,1 % ($p < 0,001$), массе парной туши – 7,2 и 12,4 % ($p < 0,001$), убойной массе – на 7,9 и 13,0 % ($p < 0,001$ убойному выходу – на 0,4 и 1,5 абс. % (рисунок 5).

По уровню мясной продуктивности животных с учетом сочетаний генотипов по гену *LEP* также установлены определенные различия: ярки генотипа *LEP^{GT}* превосходили сверстниц *LEP^{GG}*, *LEP^{TT}* генотипов по живой массе перед убоем на 3,8 и 7,3 %, массе парной туши – 6,5 и 12,4 % ($p < 0,001$), убойной массе – 6,9 и 13,1 % ($p < 0,001$), убойному выходу – на 1,2; 2,14 абс. % (рисунок 6).

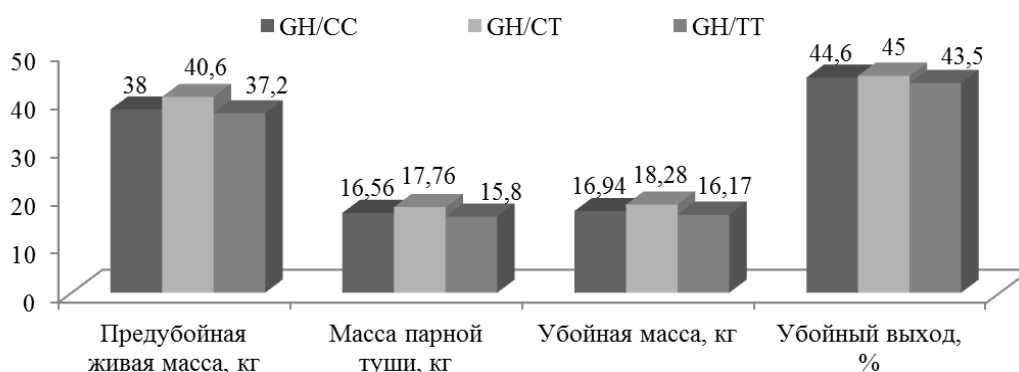


Рисунок 5 – Результаты контрольного убоя овец северокавказской мясо-шерстной породы с различными генотипами по гену *GH*

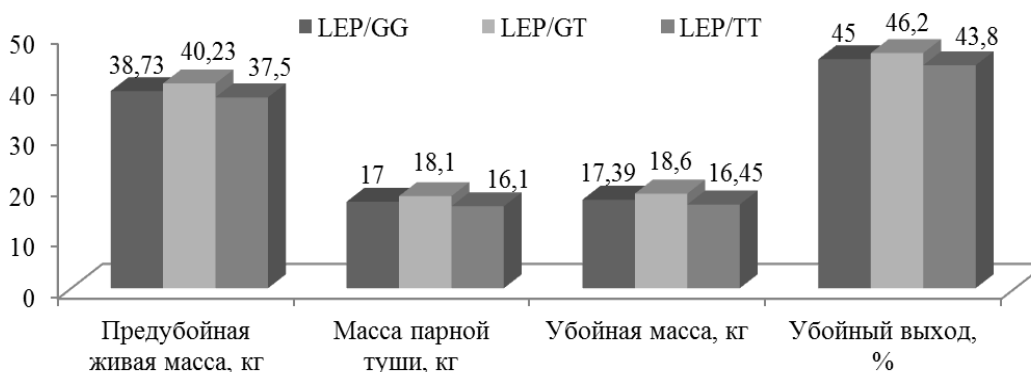


Рисунок 6 – Результаты контрольного убоя овец северокавказской мясо-шерстной породы с различными генотипами по гену *LEP*

Результаты химического состава выявили, что мышечная ткань молодняка генотипа GH^{CT} содержала больше протеина и жира на 1,16; 0,55 и 0,71 и 0,94 абс. % соответственно, но меньше влаги на 2,01 и 1,95 абс. %, чем мясо животных генотипов GH^{CC} и GH^{TT} (таблица 7). Мышечная ткань овец LEP^{GT} генотипа характеризовалась большим содержанием протеина на 1,31; 0,63 абс. % и жира на 1,06; 0,96 абс. %, но меньшим содержанием влаги на 2,25; 1,35 абс. %, по сравнению с аналогами LEP^{GG} и LEP^{TT} генотипов.

Таблица 7 – Химический состав мышечной ткани овец северокавказской мясо-шерстной породы разных генотипов по генам *GH* и *LEP*, %

Генотип	Показатель				
	Общая влага	Сухое вещество	Сырой жир	Сырая зола	Сырой протеин
<i>GH</i>					
GH^{CC}	67,09±1,22	32,91±1,22	9,36±0,73	0,9±0,02	22,65±0,5
GH^{CT}	65,08±1,86	34,92±1,86	10,07±1,35	1,04±0,01	23,81±0,51
GH^{TT}	67,03±0,97	32,97±0,97	9,13±0,4	1,03±0,04	23,26±1,09
<i>LEP</i>					
LEP^{GG}	68,08±0,74	31,92±0,74	8,69±0,59	0,96±0,07	22,27±0,34
LEP^{GT}	65,83±2,18	34,17±2,18	9,75±2,23	0,84±0,08	23,58±1,06
LEP^{TT}	67,18±2,06	32,82±2,06	8,79±0,85	1,08±0,04	22,95±1,43

Сравнительная оценка мясных качеств исследуемых овец на гистологическом уровне свидетельствует, что мышечная ткань, полученная от животных генотипа GH^{CT} , отличалась бóльшим количеством мышечных волокон на 1,9 и 2,4 % ($p < 0,001$), меньшим их диаметром на 2,0 и 6,3 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$), меньшим содержанием соединительной ткани на 0,69 – 0,86 абс. процента, чем от генотипов GH^{CC} и GH^{TT} (таблица 8).

Таблица 8 – Микроструктурный анализ мышечной ткани у ярок северокавказской мясо-шерстной породы различных генотипов по генам GH и LEP

Показатель	Количество мышечных волокон, шт.	Диаметр мышечного волокна, мкм	Общая оценка «мраморности», балл	Содержание соединительной ткани, %
<i>GH</i>				
GH^{CC}	377,26±3,05	26,91±0,51	33,72±0,44	8,03±0,2
GH^{CT}	384,52±1,35	26,36±0,72	34,62±1,18	7,34±0,38
GH^{TT}	375,34±2,8	28,14±0,48	32,11±1,17	8,2±0,31
<i>LEP</i>				
LEP^{GG}	377,33±3,11	26,79±0,6	33,03±0,69	7,93±0,41
LEP^{GT}	385,19±4,51	26,34±0,72	34,41±1,15	7,27±0,09
LEP^{TT}	376,78±6,91	28,09±0,53	32,59±1,5	8,0±0,23

Для мышечной ткани овец генотипа LEP^{GT} было характерно большее количество мышечных волокон на 2,1 и 2,2 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$), меньший диаметр на 1,7 и 6,2 % ($p < 0,05$) и количество соединительной ткани на 0,66 и 0,73 абс. %, но наибольший коэффициент «мраморности» (34,41 балла), чем у животных – носителей генотипов LEP^{GG} и LEP^{TT} .

3.6. Дисперсионный анализ результатов исследования

Для выяснения силы влияния того или иного комплекса генотипов генов GH , LEP и $MSTN$ на значения исследуемых признаков роста был применен дисперсионный анализ, который подтвердил предположения наших исследований, что полиморфизм генов GH , LEP , $MSTN$ оказывает влияние на живую массу при рождении и отъеме у овец пород северокавказская мясо-шерстная и советский меринос.

3.7. Экономическое обоснование результатов исследований

Расчет экономической эффективности разведения молодняка овец породы советский меринос выявил, что от группы особей с генотипами GH^{CT} , LEP^{GT} и $MSTN^{CC}$ получено больше продукции, что сказалось на увеличении прибыли (на 17,4 – 29,2 %) и уровне рентабельности (5,0 – 8,0 %) по сравнению с животными других генотипов исследуемых генов. Рентабельность выращивания молодняка овец северокавказской мясо-шерстной породы с генотипами GH^{CT} и LEP^{GT} составила 6,9 – 12,4 % по сравнению с животными гомозиготных генотипов (таблица 9).

Таблица 9 – Экономическая эффективность выращивания ярок различных генотипов

Генотип	Живая масса, кг	Реализационная цена племенного молодняка в живом весе, руб.	Затраты, руб:			Стоимость продукции, руб.	Прибыль, руб.	Уровень рентабельности, %
			на выращивание одной ярки до 9-мес. возраста	на генотипирование 1 гол.	всего затрат			
Советский меринос								
GH^{CC}	34,8	160	3960	330	4290	5568	1278	29,8
GH^{CT}	36,23					5796,8	1506,8	35,1
GH^{TT}	34,1					5456	1166	27,12
LEP^{GG}	34,9					5584	1294	30,2
LEP^{GT}	36,35					5816	1526	35,6
$MSTN^{CC}$	35,92					5747,2	1457,2	33,97
$MSTN^{CA}$	34,02					5443,2	1153,2	26,9
$MSTN^{AA}$	34,57					5531,2	1241,2	28,93
Северокавказская мясо-шерстная								
GH^{CC}	41,28	300	7455	330	7785	12384	4599	59,1
GH^{CT}	43,6					13080	5295	68,0
GH^{TT}	40,4					12120	4335	55,7
LEP^{GG}	41,3					12390	4605	59,2
LEP^{GT}	43,1					12930	5145	66,1
LEP^{TT}	40,5					12150	4365	56,1

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований были получены сведения о генетической структуре и взаимосвязи полиморфизма генов GH , LEP , $MSTN$ с признаками мясной продуктивности в популяции овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная. На основании проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. По результатам секвенирования образцов ДНК у овец исследуемых пород идентифицировали миссенс-мутацию, расположенную в экзоне V гена GH (с.321C>T), миссенс-мутацию в экзоне III гена LEP (с.387G>T). Исследованием фрагмента экзона III гена миостатина у овец породы советский меринос выявлена синонимичная замена в кодирующей части гена $MSTN$ (с.212C>A). Ген $MSTN$ у овец северокавказской мясо-шерстной породы оказался мономорфным.

2. На основании данных секвенирования выявлено наличие полиморфизма в локусах генов GH , LEP и $MSTN$ в популяции овец породы советский меринос, представленного двумя аллелями с разной частотой встречаемости: GH^C – 0,70; GH^T – 0,30; LEP^G – 0,86; LEP^T – 0,14; $MSTN^C$ – 0,82; $MSTN^A$ – 0,18; тремя генотипами: GH^{CC} – 53,3; GH^{CT} – 33,3; GH^{TT} – 13,4; $MSTN^{CC}$ – 70,0; $MSTN^{CA}$ – 20,0; $MSTN^{AA}$ – 10,0 % и двумя генотипами гена лептина LEP^{GG} – 73,3; LEP^{GT} – 26,7 %.

Полиморфизм генов *GH*, *LEP* в популяции овец северокавказской мясо-шерстной породы представлен двумя аллелями с разной частотой встречаемости: $GH^C - 0,68$; $GH^T - 0,32$; $LEP^G - 0,73$; $LEP^T - 0,27$; тремя генотипами: $GH^{CC} - 53,3$; $GH^{CT} - 30,0$; $GH^{TT} - 16,7$; $LEP^{GG} - 60,0$; $LEP^{GT} - 26,7$; $LEP^{TT} - 13,3$ %.

3. Обнаружены статистически значимые различия в интенсивности роста, результатах контрольного убоя у овец породы советский меринос. Наибольшей живой массой характеризовались ярки с генотипом GH^{CT} , превосходящие сверстниц с генотипами GH^{CC} и GH^{TT} при рождении на 11,2 и 14,8 % ($p < 0,001$), в возрасте 4 месяца – на 5,0 и 7,6 % ($p < 0,001$); 9 месяцев – на 4,1 и 6,2 % ($p < 0,001$). Кроме того, у овец с генотипом GH^{CT} выявлена бóльшая масса парной туши – на 6,1 и 9,6% ($p < 0,001$), убойная масса – на 6,1 и 9,5% ($p < 0,001$), содержание мышечной ткани в туше – на 7,5 и 11,9% ($p < 0,001$).

Результаты динамики массы тела у исследуемых животных в зависимости от генотипов гена *LEP* выявили, что бóльшая живая масса отмечена у ярок с генотипом LEP^{GT} над аналогами LEP^{GG} , составившая: при рождении – 10 %, при отъеме – 5,2 %, в 9 месяцев – 4,2 % ($p < 0,05$). Животные с генотипом LEP^{GT} превосходили носителей генотипа LEP^{GG} по массе парной туши на 6,3 % ($p < 0,001$), количеству внутреннего жира – на 9,8 % ($p < 0,001$), убойной массе – на 6,3 % ($p < 0,001$), содержанию мышечной ткани в туше – на 7,8 % ($p < 0,001$).

Выявлены различия, связанные с аллельными вариантами гена *MSTN*, свидетельствующие, что овцы с генотипом $MSTN^{CC}$ превосходят носителей мутантных аллелей по показателям живой массы при рождении на 12,3 и 17,5 % ($p < 0,001$), в возрасте 4 месяца – 5,3 и 8,2 % ($p < 0,05$), 9 месяцев – 4,0 и 5,6 % ($p < 0,05$). Ярки с генотипом $MSTN^{CC}$ показали бóльшие значения относительно сверстниц с генотипами $MSTN^{CA}$ и $MSTN^{AA}$ по убойным показателям: массе парной туши – на 3,1 и 6,0 %, убойной массе – на 3,1 и 5,8 %, содержанию мышечной ткани в туше – на 3,6 и 7,6 %.

4. Установлено, что биохимический состав крови у овец породы советский меринос с генотипами GH^{CT} и LEP^{GT} в возрасте 4 месяца отличался высоким уровнем сывороточного белка – на 3,4–5,8 % ($p < 0,05$), активностью трансаминаз (АСТ, АЛТ) – на 3,7–9,5 и 4,3–8,3 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$), в 9 месяцев – на 5,9–14,8 и 3,5–5,4 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$) соответственно по сравнению с животными гомозиготных вариантов.

5. Наличие у овец северокавказской мясо-шерстной породы полиморфных вариантов гена *GH* выявило преимущество ярок – носителей генотипа GH^{CT} над аналогами GH^{CC} и GH^{TT} по величине живой массы при рождении на 6,5 и 14 % ($p < 0,001$), в возрасте 4 месяца – на 7,7 и 10,8 % ($p < 0,001$); 9 месяцев – на 5,6 и 7,9 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$). Животные с генотипом GH^{CT} превосходили носителей генотипов GH^{CC} и GH^{TT} по массе парной туши на 7,2 и 12,4 % ($p < 0,001$), убойной массе – на 7,9 и 13,0 % ($p < 0,001$), содержанию мышечной ткани в туше – на 8,3 и 13,8 % ($p < 0,001$).

Среди животных исследуемых генотипов гена *LEP* наибольшая живая масса как при отъеме, так и в возрасте 9 месяцев была характерна для ярок – носителей *LEP^{GT}* генотипа по сравнению с аналогами *LEP^{GG}* и *LEP^{TT}* на 5,6 и 7,5; 4,7 и 6,9 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$). При рассмотрении количественно-качественных показателей мясной продуктивности установлено преимущество ярок с генотипом *LEP^{GT}* над сверстницами с генотипами *LEP^{GG}* и *LEP^{TT}*: по массе парной туши – на 6,5 и 12,4 % ($p < 0,001$), убойному выходу – на 1,2; 2,14 абс. %, содержанию мышечной ткани в туше – на 7,1 и 13,7 % ($p < 0,001$).

6. Выявлено, что овцы северокавказской мясо-шерстной породы с генотипами *GH^{CT}* и *LEP^{GT}* превосходили животных с гомозиготными вариантами в возрасте 4 месяца по концентрации сывороточного белка на 2,4–6,3 % ($p < 0,05$), активности трансаминаз (АСТ, АЛТ) – на 3,2–8,6 и 3,7–7,5 % ($p < 0,05$), в 9 месяцев – на 3,3–6,1 %; 6,7–11,8 и 3,3–8,4 % ($p < 0,001$; $p < 0,05$) соответственно.

7. Расчет экономической эффективности выращивания молодняка овец породы советский меринос определил, что от особей *GH^{CT}*, *LEP^{GT}* и *MSTN^{CC}* генотипов произведено больше продукции, что оказало влияние на увеличение прибыли на 17,4–29,2 % и уровень рентабельности – 5,0–8,0 %. Рентабельность выращивания молодняка овец северокавказской мясо-шерстной породы с генотипами *GH^{CT}* и *LEP^{GT}* составила 6,9–12,4 %.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ

С целью совершенствования племенных стад овец пород советский меринос, северокавказская мясо-шерстная, ускорения селекционного процесса рекомендуется проводить отбор по результатам ДНК-диагностики согласно установленным научно обоснованным сведениям о полиморфизме генов *GH*, *LEP* и *MSTN* и их связи с признаками продуктивности.

Для повышения уровня мясной продуктивности овец пород советский меринос и северокавказская мясо-шерстная целесообразно закреплять в популяции животных с генотипами *GH^{CT}* и *LEP^{GT}*.

ПЕРСПЕКТИВЫ ДАЛЬНЕЙШЕЙ РАЗРАБОТКИ ТЕМЫ

Выполненные исследования свидетельствуют о перспективности генов гормона роста, миостатина, лептина в качестве маркеров мясной продуктивности овец. Дальнейшие изыскания в этом направлении будут способствовать разработке селекционных программ по совершенствованию овец пород северокавказская мясо-шерстная и советский меринос с учетом полиморфизма генов *GH*, *LEP*, *MSTN*.

Поскольку в овцеводстве возрастает интерес к маркер-ассоциированной селекции, то целесообразно продолжать поиск ДНК-маркеров с направлением на повышение мясной продуктивности.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

*Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК
Минобразования и науки РФ*

1. **Сафонова Н.С.** Полиморфизм гена соматотропина (GH) у овец породы советский меринос / Н.С. Сафонова, Д.А. Ковалев, Л.Н. Скорых, Н.И. Ефимова, А.М. Жиров // Главный зоотехник. – 2019. – № 6. – С. 25–31.

2. Селионова М.И. Исследование полиморфизма генов гормона роста, лептина у овец породы советский меринос / М.И. Селионова, Д.А. Ковалев, Л.Н. Скорых, **Н.С. Сафонова**, Н.И. Ефимова // Вестник АПК Ставрополя. – 2019. – №3(35). – С. 25–29.

3. Скорых Л.Н. Исследование полиморфизма генов соматотропина и лептина у овец северокавказской мясо-шерстной породы / Л.Н. Скорых, Д.А. Ковалев, **Н.С. Сафонова**, А.А. Омаров // Ветеринария и кормление. – 2020. – № 1. – С. 37–39.

4. Скорых Л.Н. Миссенс-мутации в кодирующей области генов *GH* и *LEP*, ассоциированные с признаками роста у овец породы советский меринос / Л.Н. Скорых, **Н.С. Сафонова**, Д.А. Ковалев, Н.И. Ефимова // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование, 2021. – № 4 (64). – С. 161–170.

5. Скорых Л.Н. Ассоциация между полиморфизмом гена гормона роста и параметрами мясной продуктивности у овец породы советский меринос / Л.Н. Скорых, **Н.С. Сафонова**, Н.И. Ефимова // Овцы, козы, шерстяное дело. – 2022. – № 2. – С. 15–17.

Публикации в других изданиях

6. **Сафонова Н.С.** Исследование полиморфизма гена гормона роста у овец породы советский меринос / Н.С. Сафонова, Л.Н. Скорых, Н.И. Ефимова, И.В. Кузнецова // Научные основы повышения продуктивности и здоровья сельскохозяйственных животных: международная научно-практическая конференция. – Краснодар: КНЦЗВ, 2019. – Т. 8. – № 1. – С. 275–280.

7. Скорых Л.Н. Биотехнологические методы изучения полиморфизма генов соматотропина и лептина / Л.Н. Скорых, **Н.С. Сафонова**, А.А. Омаров // Пищевые технологии будущего: инновации в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции: международная научно-практическая конференция. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2020. – С. 249–252.

8. **Сафонова Н.С.** Полиморфизм генов соматотропина и лептина у овец северокавказской мясо-шерстной породы / Н.С. Сафонова // Вестник Ошского государственного университета, 2021. – № 1-2. – С. 430–437.

9. **Сафонова Н.С.** Миссенс-мутации, ассоциированные с признаками роста у овец северокавказской мясо-шерстной породы / Н.С. Сафонова, Л.Н. Скорых, А.А. Омаров // Аграрная наука и инновационное развитие животноводства – основа экологической безопасности продовольствия: национальная научно-практическая конференция с международным участием. – Саратов: Саратовский ГАУ, 2021. – С. 183–189.

Подп. в печать 28.07.2022 г. Бумага офсетная. Формат 60/84 1/16.
Зак. № 225. Печ. лист 1,0. Тираж 100 экз.

Цех оперативной полиграфии ВНИИОК-
филиала ФГБНУ «Северо - Кавказский ФНАЦ»
г. Ставрополь, пер. Зоотехнический, 15.